



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類 H01L 21/027, G03F 7/20</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO99/25010</p> <p>(43) 国際公開日 1999年5月20日(20.05.99)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05073</p> <p>(22) 国際出願日 1998年11月11日(11.11.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/310439 1997年11月12日(12.11.97) JP 特願平9/326363 1997年11月27日(27.11.97) JP 特願平9/356680 1997年12月25日(25.12.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 馬込伸貴(MAGOME, Nobutaka)[JP/JP] 西川 仁(NISHIKAWA, Jin)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 志賀正武, 外(SHIGA, Masatake et al.) 〒169-8925 東京都新宿区高田馬場三丁目23番3号 ORビル Tokyo, (JP)</p>	<p>(81) 指定国 AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), ユーランシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>	
<p>(54)Title: EXPOSURE APPARATUS, APPARATUS FOR MANUFACTURING DEVICES, AND METHOD OF MANUFACTURING EXPOSURE APPARATUSES</p> <p>(54)発明の名称 露光装置、デバイス製造装置及び露光装置の製造方法</p> <p>(57) Abstract An exposure apparatus having an illuminating system adapted to apply an exposure energy beam to a mask on which a transfer pattern is formed, and a stage system adapted to position a substrate onto which the pattern on the mask is transferred, characterized by comprising a gas supply unit provided in at least a part of an optical path of the exposure energy beam for supplying a gas of a high permeability with respect to the exposure energy beam and a high thermal conductivity, and a gas recovery unit for recovering at least a part of a gas diffused after it has been supplied from the gas supply unit to the optical path of the exposure energy beam.</p> <div data-bbox="998 1249 1388 1858"> <p>7:環境チャンバ 8:サブチャンバ</p> <p>3 ... F, LASER BEAM SOURCE 6 ... SUBSTAGE 7 ... ENVIRONMENT CHAMBER 8 ... WAFER</p> </div>		

(57)要約

本発明の露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスクに露光エネルギービームを照射する照明系と、マスクのパターンが転写される基板を位置決めするステージ系と、を有し、露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に、露光エネルギービームに対する透過率が高く、かつ熱伝導率の良好な気体を供給する気体供給装置と、気体供給装置から露光エネルギービームの光路上に供給された後に拡散する気体の少なくとも一部を回収する気体回収装置とを備えたことを特徴とする。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SG シンガポール
AL アルバニア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SI スロヴェニア
AM アルメニア	FR フランス	LR リベリア	SK スロヴァキア
AT オーストリア	GA ガボン	LS レソト	SL シエラ・レオネ
AU オーストラリア	GB 英国	LT リトアニア	SN セネガル
AZ アゼルバイジャン	GD グレナダ	LU ルクセンブルグ	SZ スワジランド
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE グルジア	LV ラトヴィア	TD チャード
BB バルバドス	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BE ベルギー	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BF ブルキナ・ファソ	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BG ブルガリア	GW ギニア・ビサウ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR トルコ
BJ ベナン	GR ギリシャ	ML マリ	TT トリニダード・トバゴ
BR ブラジル	HR クロアチア	MN モンゴル	UA ウクライナ
BY ベラルーシ	HU ハンガリー	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CA カナダ	ID インドネシア	MW マラウイ	US 米国
CF 中央アフリカ	IE アイルランド	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CG コンゴ	IL イスラエル	NE ニジェール	VN ヴィエトナム
CH スイス	IN インド	NL オランダ	YU ユーゴスラビア
CI コートジボアール	IS アイスランド	NO ノルウェー	ZA 南アフリカ共和国
CM カメルーン	IT イタリア	NZ ニュー・ジーズランド	ZW ジンバブエ
CN 中国	JP 日本	PL ポーランド	
CU キューバ	KE ケニア	PT ポルトガル	
CY キプロス	KG キルギスタン	RO ルーマニア	
CZ チェッコ	KP 北朝鮮	RU ロシア	
DE ドイツ	KR 韓国	SD スーダン	
DK デンマーク	KZ カザフスタン	SE スウェーデン	
EE エストニア	LC セントルシア		

## 明 細 書

## 露光装置、デバイス製造装置及び露光装置の製造方法

## 技術分野

本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子、又は薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスを製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを基板上に転写するために使用される露光装置、デバイス製造装置及び露光装置の製造方法に関し、例えば波長400nm程度以下の紫外域、特に波長200nm程度以下の真空紫外域（VUV）の露光光を使用する場合に使用して好適なものである。

## 背景技術

例えば半導体デバイスを製造する際に使用されるステッパ等の露光装置においては、半導体デバイスの集積度及び微細度の向上に対応するため、特に解像力を高めることが要求されている。その解像力は、ほぼ露光光の波長に比例するため、従来より露光波長は次第に短波長化されている。即ち、露光光は水銀ランプの可視域のg線（波長436nm）から紫外域のi線（波長365nm）へと代わり、最近ではKrFエキシマレーザ光（波長248nm）が使用されるようになってきている。そして、現在は、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）、F<sub>2</sub>レーザ光（波長157nm）、更にはAr<sub>2</sub>レーザ光（波長126nm）の使用が検討されている。更に、従来からのX線リソグラフィの研究によって、いわゆる極端紫外（EUV、又はXUV）域の殆どX線に近い波長13nm、11nm、又は7nm等の光、更には波長1nm程度のX線等の使用も検討されている。

しかし、ArFエキシマレーザ光程度以下の波長域、即ちほぼ200nm程度以下の真空紫外域（VUV）では、空気中の酸素による吸収が起こってオゾンが発生し、透過率が低下してしまう。そこで、例えばArFエキシマレーザ光を使

用する露光装置では、露光光の光路の大部分の気体を窒素で置き換える、いわゆる窒素パージが行われる。更に、F<sub>2</sub> レーザ程度以下の波長域では窒素でも吸収がある。この場合、窒素を通過する領域がごく狭い領域であれば、その吸収量は少なく露光には支障があまりないが、長い光路では光量が減少して適正な露光量が得られなくなる。そこで、ArFエキシマレーザの波長よりも短い波長域（190nm程度以下）、特にF<sub>2</sub> レーザの波長程度以下の波長域の光を使用する場合には、その光の光路の大部分をその光を透過する別の気体（窒素以外の不活性ガス）で置き換えるか、又は真空にする必要がある。

一方、露光光が照明光学系、及び投影光学系中のレンズやミラー等の光学素子を通過する際に、これらの光学素子においても熱エネルギーの吸収がある。このように吸収される熱エネルギーによって光学素子が熱膨張すると、倍率変化や焦点ずれ等の結像性能の劣化を招くことになる。そこで、このような結像性能の劣化を防止するために、従来より所定のレンズ間の空間内に温度制御された気体を流したり、レンズの側面やミラーの裏面等を空冷、又は液冷したりする廃熱処理が行われている。最近では、結像性能の安定性に対する要求も高まっているため、廃熱処理についても一層高いレベルの処理が必要となっている。

上記の如く、露光装置において、190nm程度以下の波長域の露光光を使用する場合には、その光路の大部分を窒素よりも吸収率の小さい気体で置き換えるか、又は真空にすることが望ましい。ところが、後者のように光路の大部分を真空にするのでは、露光装置の製造コストが上昇すると共に、露光装置のスループットが低下する。また、露光装置においては、露光光の熱エネルギーをより効率的に廃熱することも求められている。

これらの問題に同時に対処するには、露光光の光路の大部分に不活性で透過率が高く、熱伝導率が良好で（即ち、原子量が小さい）あると共に、温度制御された気体を供給すればよい。現状で、そのように不活性で熱伝導率が良好であり、かつ安全な気体として最も高性能な気体はヘリウム（He）である。しかしながら、ヘリウムは地殻や大気中での存在度が極めて低く高価であるため、使用量が増えると露光装置の運転コストが上昇するという不都合がある。また、ヘリウムは原子量が小さいために露光装置の光路を覆うカバー等の隙間から漏れ易く、単

にそのカバー内にヘリウムを循環させるのみでは、次第にヘリウムが減少するという不都合があった。

本発明は斯かる点に鑑み、露光エネルギービーム（露光光）の光路の少なくとも一部に高透過率（不活性）で熱伝導率が良好な気体を供給する場合に、その気体の使用量を抑制できる露光装置及びデバイス製造装置を提供することを目的とする。

また、上記の如く、露光装置において、波長が200nm程度以下の露光光を使用する際に、その露光光の光路を真空にしない場合には、その露光光の光路の大部分を窒素等の透過率の良好な気体で置き換える必要がある。また、波長が250～200nm程度であっても、良好な透過率を得るためにはその露光光の光路は窒素等で置き換えることが望ましい。

これに関して、露光装置は通常気密性の良好な箱状のチャンバ内に収納されていると共に、露光装置にはレチクルやウエハ等の位置決めを高精度に行うために、ガイド面に沿ってエアベアリング方式で非接触に摺動するステージ系が備えられている。そのため、それらのステージ系を使用していると、ガイド面に沿って噴出される圧縮空気がチャンバ内に漏れ出て、この空気が露光光の光路の窒素等の透過率の良好な気体に混入することから、次第に露光光に対する透過率が低下するという不都合があった。このように透過率が低下すると、ウエハ上での照度が低下するため、適正露光量を得るためには露光時間を長くする必要が生じて、露光工程のスループットが低下してしまう。

また、露光装置には、ステージ系以外にも空気を用いて位置決めや防振等を行う機器が備えられているが、これらの機器から発生する空気も露光光の透過率を低下させる恐れがある。

本発明は斯かる点に鑑み、露光エネルギービーム（露光光）の光路の少なくとも一部に所定の透過率の高い気体を供給する場合に、その露光エネルギービームを高い利用効率でウエハ等の露光対象の基板まで導くことができる露光装置を提供することを目的とする。

さらに、本発明者等は、エキシマレーザ光源を用いた比較的フィールドサイズの大きい投影露光装置によって各種の露光実験を行なったところ、例えば350

nm以下の紫外波長域の照明光（波長248nmのKrFエキシマレーザ、或いは波長193nmのArFエキシマレーザ等）の照射によって、投影光学系内の光学素子、或いは光学素子のコート材（たとえば反射防止膜等の薄膜）の透過率または反射率がダイナミックに変動するといった新たな現象を発見した。このような透過率がダイナミックに変動する現象は、投影光学系内の光学素子のみならず、レチクルを照明する照明光学系、またはクリーンルームの床下に配置される光源から射出される照明光を露光装置本体内の照明光学系に導く送光系内の光学素子やレチクル（石英板）自体についても全く同様に発生し得ることが判明した。なお、本明細書において、送光系を含めて照明光学系と呼ぶものとする。

このような現象は、投影光路内や照明光路内の空間に存在する気体（空気、窒素ガス等）中に含まれる不純物、光学素子を鏡筒に固定するための接着剤または充填材等から発生する有機物質の分子、或いはその鏡筒の内壁（反射防止用の塗装面等）から発生する不純物（たとえば水分子、ハイドロカーボンの分子、またはこれら以外の照明光を拡散する物質）が光学素子の表面に付着したり、照明光路内に進入（浮遊）することで生じるものと考えられる。その結果、投影光学系や照明光学系の透過率または反射率が比較的短時間のうちに大きく変動するといった重大な問題が起こる。

本発明の目的は、投影光学系や照明光学系を構成するレンズや反射鏡などの光学素子を接着剤又は充填材を使用せず保持するようにした投影露光装置を提供することにある。

#### 発明の開示

本発明による露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスクに露光エネルギービームを照射する照明系（3, 11, 13, 14, 17～19）と、そのマスクのパターンが転写される基板を位置決めするステージ系（20～24）と、を有する露光装置において、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に、その露光エネルギービームに対する透過率が高く、かつ熱伝導率の良好な気体を供給する気体供給装置（31, 43, 46）と、この気体供給装置からその

露光エネルギービームの光路上に供給された後に拡散するその気体の少なくとも一部を回収する気体回収装置（33～37, 41, 42）と、を備えたものである。

斯かる本発明によれば、その光路上に供給されたその気体の一部は回収されて再使用（リサイクル）することができるため、その気体の使用量を抑制できる。従って、その気体が高価である場合に運転コストが低下する。

この場合、その気体の一例はヘリウム（He）である。ヘリウムは、安全であり、150nm程度以下の波長域の露光光を使用する場合でも透過率が高いと共に、熱伝導率が窒素（N<sub>2</sub>）の約6倍程度と高いため、光学素子に対する冷却効果が高い。

また、その気体回収装置が例えば空気中に拡散したヘリウムを回収する場合、混合気体中の酸素は酸素吸収材で処理し、窒素は冷却することでヘリウムと分離できるため、残されたヘリウムを回収すればよい。又は、その混合気体を液体空気温度まで冷却し、生成された液体を除去することで、まだ気体のままのヘリウムのみを容易に回収できる。

また、その気体回収装置は、複数の露光装置で共用されることが望ましい。これによって、その気体回収装置の設備費が低減される。

また、その気体回収装置で回収されたその気体をその気体供給装置の少なくとも一部（31, 43）を介してその露光エネルギービームの光路上に再循環させることが望ましい。

また、その気体供給装置は、一例としてその気体回収装置から供給されるその気体の濃度を計測する濃度計（44）と、その気体が気体の状態、又は液化された状態で封入された気体源（46）と、その濃度計の計測結果に応じて気体源（46）からの気体をその気体回収装置から供給される気体に補充する制御部（43, 45, 48）と、を有するものである。その制御部は、その濃度計で計測されるその気体の濃度が所定の許容レベルより低くなったときに、その気体源からの気体を補充する。これによって、その気体源内の気体を無駄に使用することがなくなる。

また、その気体供給装置は、別の例としてその気体を液化保存、又は高圧保存

する気体源（４６）と、この気体源内の液化ガス、又は高圧ガスをその気体に戻す変換装置と、その気体源からその気体はその露光装置に供給される前にその気体の温度、及び圧力を調整する調整装置（４３）とを有するものである。これによって、その気体を狭い空間に大量に保存できる。

また、その気体回収装置は、その回収した気体を液化、又は高圧化して保存することが望ましい。これによってその気体を大量に狭い空間に保存できる。

また、本発明によるデバイス製造装置は、本発明による露光装置を含む複数の露光装置を有し、これら複数の露光装置で複数のデバイスパターンを露光対象の基板上に重ね合わせて転写してマイクロデバイスを製造するものである。この場合にも、その気体の使用量が抑制できる。

本発明による露光装置は、所定の露光エネルギービームでマスク（Ｒ）を照明し、そのマスクに形成されたパターンを基板（Ｗ）上に転写する露光装置において、制御用の第１の気体を用いて所定の動作（位置決め、防振等）を行う気体制御式駆動装置（１２３，１２５Ａ）を備え、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に透過率の良好な第２の気体を供給すると共に、その気体制御式駆動装置用のその第１の気体として、その第２の気体と同じ種類の気体を使用するものである。

斯かる本発明によれば、その気体制御式駆動装置を駆動する際に排気される気体は、その露光エネルギービームに対する透過率の良好な第２の気体と同じ種類の気体であるため、その露光エネルギービームの光路上に供給されるその第２の気体の濃度が次第に低下することがなくなる。従って、その露光エネルギービームに対する透過率が次第に低下することがなくなり、その露光エネルギービームを高い利用効率でその基板に導くことができる。

この場合、その気体制御式駆動装置の一例は、気体軸受け方式でガイド面と接触するステージ装置（１２３）、気体式のシリンダ装置、又は気体を緩衝材の一部に使用する防振台（１２５Ａ）である。また、露光装置は通常箱状のチャンバ内に収納されて使用されるため、それらの気体制御式駆動装置よりその第２の気体と異なる種類の気体が排出されると、そのチャンバ内でその露光エネルギービームの透過率が次第に低下するが、本発明によれば、そのチャンバ内でのその露



光エネルギービームの透過率の低下が防止される。

また、その露光エネルギービームが250 nm以下の波長の紫外光である場合に、その第2の気体は窒素(N<sub>2</sub>)、又はヘリウム(He)であることが望ましい。特に波長が250～200 nm程度までは窒素の透過率が良好であるため、安価な窒素を使用することができる。また、これらの気体であれば、不活性であるため、光学素子の表面に曇り物質等が生成されることもなくなる。

また、その露光エネルギービームが200 nm以下の波長の紫外光である場合に、その第2の気体はヘリウムであることが望ましい。ヘリウムはそのような短波長の光に対する透過率が高い他に、熱伝導率が特に良好であるため、光学部材等の冷却能力が高い。更に、波長200 nm以下の波長の一例として波長193 nmのArFエキシマレーザ光を露光エネルギービームとして使用し、かつ反射屈折系よりなる投影光学系を使用する場合、反射屈折系は屈折系に比べてレンズ枚数が少なくなり、レンズ間隔が広がるため、大気圧変動の影響を受け易くなっている。そこで、その反射屈折系よりなる投影光学系の内部を、気圧変化に対する屈折率の変化の割合が窒素に比べてかなり小さいヘリウムでパージすることによって、結像特性の変動量を小さく抑制できる。

また、露光エネルギービームがX線(例えば波長10 nm～1 nm程度)である場合に、その第2の気体の一例は窒素、又はヘリウムである。X線であっても短い距離であれば、減衰量は低く抑えられる。

本発明による露光装置(投影露光装置)は、保持部材に保持される複数の光学素子(9A, 9B, 11…(109A, 109B, 111…))を有し、照明光源からの照明光をマスクに照射する照明光学系と、保持部材に保持される複数の光学素子(L201, L202…)を有し、マスク(原版)上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系(PL)とを備える。そして、接着剤を用いることなく上記光学素子のすべてを押し付け機構を用いて保持部材に保持することにより、上記目的を達成する。

また、その押し付け機構は、一例として、一端を保持部材(251)の内周部に固定し、他端で光学素子(L201, L202)の外周部を押圧する板ばね(261)としたものである。

また、その押し付け機構は、別の例として保持部材（２５２）の内周部に刻設したねじ部に螺合し、螺進させて光学素子（Ｌ２０３～Ｌ２０５）の外周部を押圧するねじ環（２６３）としたものである。

また、本発明による露光装置（投影露光装置）は、複数のロッドレンズ（Ｌ２６０）を束ねたフライアイレンズ（１１，１１１）を含む複数の光学素子（２０４，２０５，２０６…）を有し、照明光源（２０１）からの照明光をマスクに照射する照明光学系（２３２）と、保持部材に保持される複数の光学素子（Ｌ２０１，Ｌ２０２…）を有し、マスク（原版）上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系とを備える。そして、接着剤を用いることなく複数のロッドレンズ（Ｌ２６０）を保持装置（２８０）で束ねたことにより、上記目的を達成する。

また、本発明による露光装置の製造方法では、露光エネルギービームの光路の少なくとも一部をほぼ密封する気体室に、露光エネルギービームの減衰を低減する気体を供給する供給管を接続し、気体室に供給される気体の少なくとも一部を回収する回収管を、気体室と、気体室が配置される筐体との少なくとも一方に接続することを特徴とする。そして、回収される気体から不純物を除去する除去装置に回収管を接続するとともに、除去装置と供給管とを接続する。また、露光エネルギービームが通る光学素子を、接着剤を用いることなく保持部材に固定して露光装置に組み込む。さらに、露光装置に設けられ、気体と光学的な特性が実質的に同じである気体を用いる気体制御式駆動装置と、該気体の供給源とを接続することを特徴とする。

斯かる本発明によれば、その光路上に供給されたその気体の一部は回収されて再使用（リサイクル）することができるため、その気体の使用量を抑制でき、運転コストを低下させることができる露光装置を製造することができる。

なお、本発明の構成を説明する発明の開示の項では、本発明を分かり易くするために発明の実施例の図を用いたが、これにより本発明が発明の実施例に限定されるものではない。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施の形態の投影露光装置、ヘリウム循環装置の一部、及び窒素循環装置の一部を示す一部を切り欠いた概略構成図である。

図2は、その実施の形態のヘリウム循環装置及び窒素循環装置の主要部を示す一部を切り欠いた概略構成図である。

図3は、本発明の第2の実施の形態の複数台の投影露光装置、及び1台のヘリウム回収装置を示す一部を断面図とした概略構成図である。

図4は、本発明の第1の実施の形態の投影露光装置の変形例を示す一部を断面図とした概略構成図である。

図5は、本発明の第3の実施の形態の一例の投影露光装置、及びヘリウム供給装置を示す一部を断面図とした概略構成図である。

図6は、図5中のウエハステージの主要部をX方向から見た断面図である。

図7は、投影光学系のレンズを板ばねで保持する場合の概念である。

図8は、板ばねを用いた押し付け機構の詳細図である。

図9は、フライアイレンズの詳細を示す斜視図である。

図10(a)はフライアイレンズの上面図、図10(b)は正面図、図10(c)は側面図である。

### 実施例

以下、本発明の第1の実施の形態につき図1及び図2を参照して説明する。本例は、露光光の光路の大部分にヘリウムガスが供給される半導体デバイス製造用の投影露光装置に本発明を適用したものである。

図1は、本例の投影露光装置、及びヘリウム循環装置の一部の概略構成を示し、図2はそのヘリウム循環装置の主要部の概略構成を示し、図1及び図2において、半導体製造工場の或る階の床F1上のクリーンルーム内に投影露光装置が設置され、その階下の床F2上のいわゆる機械室（ユーティリティスペース）内に、階上の投影露光装置にヘリウムガスを供給し、更に回収するヘリウム循環装置が設置されている。このように発塵し易いと共に、振動発生源となり易い装置を、投影露光装置が設置されている階と別の階に設置することによって、投影露光装置

が設置されているクリーンルーム内の清浄度を極めて高く設定できると共に、投影露光装置に対する振動の影響を小さくできる。

但し、ヘリウムガスは軽くて上昇し易いため、本例のヘリウム循環装置を、投影露光装置が設置されている階の階上に置いても構わない。また、ヘリウム循環装置内の後述の供給装置は床F 2上に配置し、回収装置は床F 1又はその階上に配置するというように、ヘリウム循環装置を部分毎に異なる階上に設置してもよい。

先ず、図1の床F 1上のクリーンルーム内において、防振台2 A, 2 Bを介して箱状のケース1が設置され、ケース1内に露光光源としてのF<sub>2</sub> レーザ光源3（発振波長157 nm）、露光本体部との間で光路を位置的にマッチングさせるための可動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）4、及び遮光性の材料から形成され内部を露光光が通過するパイプ5が設置されている。また、ケース1の隣に箱状の気密性の良好な環境チャンバ7が設置され、環境チャンバ7内で床F 1上に床からの振動を減衰するための防振台25 A, 25 Bを介して定盤24が設置され、定盤24上に露光本体部26が設置されている。また、ケース1内から突き出ているパイプ5から環境チャンバ7の内部まで気密性の良好なサブチャンバ6が架設され、サブチャンバ6内に照明光学系の大部分が収納されている。

なお、F<sub>2</sub> レーザ光源3を床F 1の階下の床F 2上に配置してもよい。この場合、床F 1上のクリーンルーム内での投影露光装置による専有面積（フットプリント）を小さくできると共に、露光本体部26への振動の影響も小さくできる。

また、露光エネルギービーム（露光光）として、ArFエキシマレーザ光（波長193 nm）、若しくはKrFエキシマレーザ光（波長248 nm）、又はX線等を使用する場合でも、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部にヘリウム等を供給するような場合には、本発明が適用できる。また、本例の露光本体部26は、以下で説明するように走査露光型、例えばステップ・アンド・スキャン方式であるが、一括露光型、例えばステップ・アンド・リピート方式であっても本発明が適用されるのは言うまでもない。

先ず、露光時に、ケース1内のF<sub>2</sub> レーザ光源3から射出された露光光として

の波長157nmの紫外パルス光1Lは、BMU4及びパイプ5の内部を経てサブチャンバ6内に至る。サブチャンバ6内において、紫外パルス光1Lは、光アッテネータとしての可変減光器8、レンズ系9A、9Bよりなるビーム整形光学系を経てフライアイレンズ11に入射する。フライアイレンズ11の射出面には照明条件を種々に変更するための照明系の開口絞り系12が配置されている。

フライアイレンズ11から射出されて開口絞り系12中の所定の開口絞りを通過した紫外パルス光1Lは、反射ミラー13、及びコンデンサレンズ系14を経てレチクルブラインド機構16内のスリット状の開口部を有する固定照明視野絞り（固定ブラインド）15Aに入射する。更に、レチクルブラインド機構16内には、固定ブラインド15Aとは別に照明視野領域の走査方向の幅を可変とするための可動ブラインド15Bが設けられ、この可動ブラインド15Bによってレチクルステージの走査方向の移動ストロークの低減、及びレチクルRの遮光帯の幅の低減を図っている。

レチクルブラインド機構16の固定ブラインド15Aでスリット状に整形された紫外パルス光1Lは、結像用レンズ系17、反射ミラー18、及び主コンデンサレンズ系19を介して、レチクルRの回路パターン領域上のスリット状の照明領域を一様な強度分布で照射する。本例では、遮光性の材料からなるパイプ5の射出面から主コンデンサレンズ系19までがサブチャンバ6内に収納され、更にパイプ5の内部からF<sub>2</sub>レーザ光源3の射出面までの空間も密閉されて、サブチャンバ6内の空間に連通している。そして、サブチャンバ6内の空間には、階下のヘリウム循環装置から配管31の分岐管31a、及び分岐管31bを介して2箇所所定の純度以上で温度制御されたヘリウムガス（He）が供給されている。但し、ヘリウムは分子量が小さく漏れ易いため、サブチャンバ6から自然に漏れ出たヘリウムの一部は上昇して環境チャンバ7の天井近傍の空間7aに溜まる。

図2に示すように、配管31には開閉バルブV11が設けられており、制御系45によって開閉バルブV11の開閉を制御することで、投影露光装置へのヘリウムガスの供給、及びその停止を切り換えることができる。図1に戻り、配管31の分岐管31aには開閉バルブV13が設けられ、分岐管31bには投影光学系PLとの間に開閉バルブV14が、照明光学系（サブチャンバ6）との間に開

閉バルブV 1 5 がそれぞれ設けられている。また、配管 3 1 の別の分岐管 3 1 c (図 2 参照)、及び開閉バルブV 1 2 を介して、F<sub>2</sub> レーザ光源 3、及びBMU 4 などが収納されたケース 1 内に、所定純度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給される。そして、図 2 の制御系 4 5 によって開閉バルブV 1 2 ~ V 1 5 をそれぞれ独立に開閉することで、ケース 1、サブチャンバ 6 (照明光学系)、及び投影光学系 PL の内の所望の少なくとも 1 つにヘリウムガスを供給することが可能となっている。

紫外パルス光 I L のもとで、レチクル R の照明領域内の回路パターンの像が投影光学系 PL を介してウエハ (wafer) W 上のレジスト層のスリット状の露光領域に転写される。その露光領域は、ウエハ上の複数のショット領域内の 1 つのショット領域上に位置している。本例の投影光学系 PL は、ジオプトリック系 (屈折系) であるが、このような短波長の紫外光を透過できる硝材は限られているため、投影光学系 PL をカタジオプトリック系 (反射屈折系)、又は反射系として、投影光学系 PL での紫外パルス光 I L の透過率を高めるようにしてもよい。以下では、投影光学系 PL の光軸 AX に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面内で図 1 の紙面に平行に X 軸、図 1 の紙面に垂直に Y 軸を取って説明する。

このとき、レチクル R は、レチクルステージ 2 0 上に吸着保持され、レチクルステージ 2 0 は、レチクルベース 2 1 上に X 方向 (走査方向) に等速移動できると共に、X 方向、Y 方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ 2 0 (レチクル R) の 2 次元的な位置、及び回転角は、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。

一方、ウエハ W はウエハホルダ 2 2 上に吸着保持され、ウエハホルダ 2 2 はウエハステージ 2 3 上に固定され、ウエハステージ 2 3 は定盤 2 4 上に載置されている。ウエハステージ 2 3 は、オートフォーカス方式でウエハ W のフォーカス位置 (Z 方向の位置)、及び傾斜角を制御してウエハ W の表面を投影光学系 PL の像面に合わせ込むと共に、ウエハ W の X 方向への等速走査、及び X 方向、Y 方向へのステッピングを行う。ウエハステージ 2 3 (ウエハ W) の 2 次元的な位置、及び回転角も、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。走査露光時には、レチクルステージ 2 0 を介して紫外パルス光 I L の照明領

域に対してレチクルRが+X方向（又は-X方向）に速度 $V_r$ で走査されるのに同期して、ウエハステージ23を介して露光領域に対してウエハWが-X方向（又は+X方向）に速度 $\beta \cdot V_r$ （ $\beta$ はレチクルRからウエハWへの投影倍率）で走査される。

また、サブチャンバ6内と同様に本例の投影光学系PLの鏡筒内部の空間（複数のレンズ素子間の空間）の全体にも、階下のヘリウム循環装置より配管31の分岐管31b、及び開閉バルブV14を介して、所定の濃度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給されている。投影光学系PLの鏡筒から漏れ出るヘリウムも上昇して、環境チャンバ7の天井付近の空間7aに溜まる。

更に、本例では、環境チャンバ7の内部に階下の窒素循環装置（33～40、82～87、89など）から、配管88を介して酸素の含有量を極めて低く抑えると共に、温度及び圧力制御された窒素ガス（ $N_2$ ）が供給されている。そして、環境チャンバ7内を循環した窒素ガスは、例えば環境チャンバ7の底面側の排気孔（不図示）、及びその環境チャンバ7の側面に接続された配管95を介して配管33に回収され、回収された窒素ガスは後述のようにその窒素循環装置に戻されている。配管95の途中には開閉バルブV19が設けられている。

このように本例では、F<sub>2</sub> レーザ光源3の射出面から主コンデンサレンズ系19までの紫外パルス光ILの光路、及び投影光学系PL内の紫外パルス光ILの光路に、190nm程度以下の光に対しても高い透過率を有するヘリウムガスが供給されている。また、主コンデンサレンズ系19から投影光学系PLの入射面まで、及び投影光学系PLの射出面からウエハWの表面までは、190nm程度以下の光に対してはあまり透過率の良くない窒素ガスが供給されているが、その窒素ガス内を通過する光路は極めて短いため、窒素ガスによる吸収量も僅かである。なお、窒素ガスは通常の空気（主に酸素）に比べて200nm～150nm程度の波長の光に対する透過率が高く、かつ窒素ガスは大気中に多く存在してヘリウムガスに比べて安価であるため、特に短い光路の部分に使用する際のコストパフォーマンスが優れている。従って、F<sub>2</sub> レーザ光源3から射出された紫外パルス光ILは、全体として高い透過率（利用効率）でウエハWの表面に達するため、露光時間（走査露光時間）を短縮でき、露光工程のスループットが向上する。

また、ヘリウムは窒素に比べて熱伝導率が6倍程度良好であるため、F<sub>2</sub>レーザー光源3内の光学素子、照明光学系内の光学素子、及び投影光学系PLの光学素子において紫外パルス光1Lの照射によって蓄積された熱エネルギーは、ヘリウムガスを介して効率的にそれぞれケース1、サブチャンバ6のカバー、及び投影光学系PLの鏡筒に伝導する。また、ケース1、サブチャンバ6のカバー、及び投影光学系PLの鏡筒の熱エネルギーは、クリーンルーム内の温度制御された空気、又は環境チャンバ7内の温度制御された窒素ガスによって階下等の外部に効率的に廃熱される。従って、照明光学系、及び投影光学系PLの光学素子の温度上昇が極めて低く抑えられて、結像性能の劣化が最小限に抑制される。更に、ヘリウムは気圧変化に対する屈折率の変化量が極めて少ないため、例えば投影光学系PL内での屈折率変化量が極めて少なくなり、この面でも安定な結像性能が維持される。

次に、本例のヘリウム循環装置につき詳細に説明する。環境チャンバ7内で、サブチャンバ6から漏れ出たヘリウム、及び投影光学系PLから漏れ出たヘリウムは、窒素に比べて軽いため上昇して天井近傍の空間7aに溜まる。但し、空間7a内の気体は、ヘリウムの他に窒素や、環境チャンバ7の外部から入り込む空気が混じった混合気体である。

本例では、環境チャンバ7の外部からその空間7aに配管33が接続され、配管33は、床F1に設けられた開口を通過して階下のヘリウム循環装置に通じている。更に、ケース1は配管92によって配管33と接続されており、配管92の途中には開閉バルブV16が設けられている。また、照明光学系が収納されたサブチャンバ6、及び投影光学系PL内でヘリウムが供給される空間もそれぞれ配管93及び94によって配管33と接続され、配管93及び94の途中にはそれぞれ開閉バルブV17及びV18が設けられている。従って、図2の制御系45によって開閉バルブV16、V17、V18をそれぞれ独立に開閉することで、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの内の所望の少なくとも1つから、有機物や塵埃などを含んだヘリウムガスを回収することが可能となっている。

また、床F1の底面側の配管33の途中に吸引用のポンプ（又はファン）34が配置されており、配管33、及びポンプ34によってその空間7a、及びケー



ス1の内部等から吸引された混合気体は、階下のヘリウム循環装置に向かう。そして、ポンプ34を通過した混合気体は集塵排水装置35に達し、ここで後の断熱圧縮冷却の通路の目詰まり避けるために、微少な塵埃、及び水分が除去される。即ち、集塵排水装置35には、例えばHEPAフィルタ (high efficiency particulate air-filter)、又はULPAフィルタ (ultra low penetration air-filter) が備えられている。

更に、集塵排水装置35で塵埃や水分などが除去された混合気体は配管36を通って不純物除去装置80に達し、ここで混合気体に含まれる塵埃及び水分以外の不純物 (汚染物質) が除去される。ここで除去される不純物は、F<sub>2</sub> レーザ光源3、照明光学系、及び投影光学系PLの光学素子の表面に付着してその曇りの原因となる物質、あるいは露光光の光路内に浮遊して照明光学系や投影光学系PLの透過率 (照度) 若しくは照度分布などを変動させる物質、又はウエハW (レジスト) の表面に付着して現像処理後のパターン像を変形させる物質などである。

本例の不純物除去装置80としては、活性炭フィルタ (例えば、ニッタ株式会社製のギガソープ (商品名))、又はゼオライトフィルタ、あるいはこれらを組み合わせたフィルタが使用できる。これにより、環境チャンバ7、照明光学系、及び投影光学系PLの内部に存在するシロキサン (siloxane: Si-Oの鎖が軸となる物質) 又はシラザン (silazane: Si-Nの鎖が軸となる物質) などのシリコン系有機物が除去される。

ここで、シロキサンの1つである、Si-Oの鎖が軸となった「環状シロキサン」という物質が、投影露光装置で用いられるシリコン系の接着剤、シーリング剤、塗料等に含まれており、これが経年変化により脱ガスとして発生する。環状シロキサンは、感光基板や光学素子 (レンズなど) の表面に付着し易く、更に紫外光が当たると酸化されて、光学素子表面におけるSiO<sub>2</sub>系の曇り物質となる。

また、シラザンとしては、レジスト塗布工程で前処理剤として用いられるヘキサ・メチル・ジ・シラザン (hexamethyldisilazane: 以下「HMDS」という) がある。HMDSは、水と反応してシラノール (silanol) という物質に変化 (加水分解) する。シラノールは、感光基板や光学素子などの表面に付着し易く、更に紫外光が当たると酸化されて、光学素子表面におけるSiO<sub>2</sub>系の曇り物質と

なる。なお、シラザンは上記加水分解でアンモニアを発生するが、このアンモニアがシロキサンと共存すると更に光学素子表面を曇り易くする。

ところで、照明光学系や投影光学系PLの光学素子の表面などに付着した有機物（例えば炭化水素（hydrocarbon））が光洗浄によって分解され、ヘリウムガスに混入するが、本例では不純物除去装置80によってこの炭化水素も除去される。更に、前述のシリコン系有機物だけでなく、環境チャンバ7内の配線やプラスチックなどの脱ガスとして、可塑剤（フタル酸エステルなど）、難燃剤（燐酸、塩素系物質）なども発生するが、本例ではこれら可塑剤や難燃剤なども不純物除去装置80で除去される。なお、クリーンルーム内に浮遊するアンモニウムイオンや硫酸イオンなどが環境チャンバ7内に進入しても、これらのイオンも不純物除去装置80で除去される。また、本例では集塵排水装置35よりも下流側に不純物除去装置80を設けたが、これを集塵排水装置35よりも上流側に設けてもよいし、あるいは集塵排水装置35内のHEPAフィルタ、又はULPAフィルタと不純物除去装置80内の活性炭フィルタなどとを一体的に構成してもよい。

さて、不純物除去装置80を通過した混合気体は、配管36を経て冷凍装置37に達し、ここで断熱圧縮冷却によって液体窒素温度まで冷却される。これによって、窒素及び空気の成分は液化するため、液化した窒素を含む空気の成分と気体のままのヘリウムとを容易に分離できる。冷凍装置37内で液化した主に窒素（N<sub>2</sub>）よりなる空気の成分は、配管38及びこの途中に配置された吸引用のポンプ39を介して図2のポンベ40に回収される。ポンベ40内で気化した窒素等の空気の成分は、例えば再利用（リサイクル）することができる。一方、図1の冷凍装置37内で気体のまま存在するヘリウムは、配管41及びこの途中に配置された吸引用のポンプ（又はファン）42を介して、図2の混合温調装置43の第1の流入口に向かう。

図2において、混合温調装置43の第2の流入口には、高純度のヘリウムガスが高圧で封入されたポンベ46から、配管47及び開閉バルブ48を介して高純度のヘリウムガスが供給されている。なお、ポンベ46内に液化したヘリウムを収納しておいてもよい。更に、図1の冷凍装置37を介して回収されたヘリウムが通過する配管41内の、混合温調装置43に対する流入口の近傍にヘリウムの

濃度（又は純度）を計測するためのヘリウム濃度計 4 4 が設置され、この測定データがコンピュータよりなる制御系 4 5 に供給されている。制御系 4 5 は、ヘリウム濃度計 4 4 で測定される回収されたヘリウムの濃度が所定の許容値に達しないときに、開閉バルブ 4 8 を開放して、ポンベ 4 6 から混合温調装置 4 3 内に高純度のヘリウムを加える。そして、ヘリウム濃度計 4 4 で測定されるヘリウム濃度がその許容値以上であるときには、制御系 4 5 は開閉バルブ 4 8 を閉じる。また、露光動作が行われない期間でも、開閉バルブ 4 8 は閉じられている。なお、ヘリウム濃度計の代わりに酸素濃度を検出するセンサを用いるようにし、酸素濃度がその許容値以下であるときには開閉バルブ 4 8 を閉じておくように制御してもよい。

更に、混合温調装置 4 3 は、回収されたヘリウム、及びポンベ 4 6 からのヘリウムを所定の気圧範囲内で混合してから所定の温度及び湿度に制御し、温度、圧力、及び湿度が制御されたヘリウムを配管 3 1 に供給する。集塵排水装置 3 5 から混合温調装置 4 3 までが本例のヘリウム循環装置を構成している。また、配管 3 1 は、上階の床 F 1 に設けられた開口を通過して上階のクリーンルーム内に達していると共に、配管 3 1 の途中で、かつ床 F 1 の底面側に送風用のポンプ（又はファン） 3 2 が設置され、床 F 1 の上面側に開閉バルブ V 1 1 が設置されている。そして、混合温調装置 4 3 によって所定の気圧の範囲内で、所定の濃度以上であると共に、所定の温度、圧力、及び湿度に制御されたヘリウムガスは、配管 3 1 に供給された後、ポンプ 3 2 によって送風されながら配管 3 1 の分岐管 3 1 a、3 1 b 及び 3 1 c を介して、図 1 の床 F 1 上の投影露光装置のサブチャンバ 6 内、投影光学系 P L 内、及びケース 1 内にそれぞれ供給されている。

また、図 2 において、配管 3 1 内の開閉バルブ V 1 1 よりも上流側（ポンプ 3 2 側）に、ヘリウムガスに混入している不純物（前述のシリコン系有機物などを含む）の濃度を検出する不純物濃度計 9 0 が配置されており、その測定値に基づいて制御系 4 5 が開閉バルブ V 1 1 の開閉、即ちヘリウムの供給、及びその停止を制御している。この不純物濃度計 9 0 で計測される不純物の濃度が所定の許容値以上となったときは、開閉バルブ V 1 1 を閉じて投影露光装置へのヘリウムの供給を停止し、例えば図 1 の不純物除去装置 8 0 のフィルタ交換を行う。あるいは

は回収したヘリウムを不純物と共にそのヘリウム循環装置外に放出する。しかる後、開閉バルブV 1 1を開けてヘリウムの供給を再開すると共に、図1の開閉バルブV 1 2～V 1 8も開けてヘリウムを循環させる。そして、一例として不純物の濃度が許容値よりも低いことが確認された時点で開閉バルブV 1 6～V 1 8を閉じる。更に、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PL内でのヘリウムの濃度がそれぞれ所定値に達した時点で開閉バルブV 1 2～V 1 5を順次閉じていく。

そして、図1のウエハステージ23に設けられた光検出器（不図示）を用いて、投影光学系PLの露光光（紫外パルス光IL）に対する透過率（又はウエハW上での照度）、更にはレチクルR又はウエハW上での照度分布を検出し、これらの検出結果に基づいてウエハWへの露光を開始する。なお、前述のフィルタ交換、又は回収したヘリウムの放出の代わりに、回収したヘリウムを保存するためのボンベ（後述の図3中のボンベ50に相当する）を別のボンベと交換し、別の再生工場などでその純度を高めるようにし、環境チャンバ7にはボンベ46内の高純度のヘリウムを供給するようにしてもよい。また、不純物濃度計90は配管31の内部以外の位置に配置してもよく、例えば配管41内、又は配管36内で不純物除去装置80よりも下流側に配置してもよい。

更に、本例の投影露光装置の稼働の立ち上げ時、若しくは長時間停止後の再稼働時、あるいは照明光学系、及び投影光学系PLの光洗浄開始時、若しくはその終了後などでは、図2の制御系45によって配管31の開閉バルブV 1 1を閉じ、かつ図1の配管92～94の開閉バルブV 1 6～V 1 8を開けた状態で、ポンプ34によってケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PL内の気体（ヘリウムなど）を吸引するものとする。このとき、環境チャンバ7の上部空間7a内の混合気体が配管33に流入しないように、配管33の流入口付近に設けられる開閉バルブ（不図示）を閉じておくことが望ましい。しかる後、開閉バルブV 1 6～V 1 8を閉じると共に、開閉バルブV 1 1を開けてケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLにそれぞれヘリウムを供給し、その内部でのヘリウム濃度が所定値に達したもののから順に対応する開閉バルブV 1 2～V 1 5を閉じていき、開閉バルブV 1 2～V 1 5が全て閉じられた後でバルブV 1 1を閉じる。これに

より、ウエハWの露光動作、又はその準備動作などの開始が可能となる。

図示していないが、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの内部にはそれぞれヘリウム濃度計又は酸素濃度計が設けられており、制御系45はこの濃度計の出力に基づいて開閉バルブV12～V15の開閉を制御する。このとき、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLでそれぞれヘリウムの濃度がその許容値に達する、あるいは酸素濃度がその許容値以下となるまでF<sub>2</sub>レーザ光源3の発振、即ちウエハWの露光が禁止されるようになっている。なお、環境チャンバ7内、特に照明光学系（コンデンサーレンズ19）と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間にそれぞれ窒素濃度計又は酸素濃度計を配置し、更にこの濃度計の出力を併用して前述と同様にF<sub>2</sub>レーザ光源3の発振を制御してもよい。また、投影露光装置の稼働中にケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの少なくとも1つ、例えば投影光学系PLの内部でのヘリウム濃度が所定値よりも低くなったときは、開閉バルブV11、V14を開けてヘリウムを供給する。このとき、投影光学系PL内、特に光学素子間での圧力を変化させないように、混合温調装置43やポンプ32などによってその供給するヘリウムガスの流量や圧力などを調整しておく。これは、圧力変化による投影光学系PLの結像特性の変化、及びレチクルR又はウエハW上での照度、又はその分布の変化を防止するためである。図示していないが、照明光学系（サブチャンバ6）及び投影光学系PLの内部にはそれぞれ圧力センサが設けられており、制御系45はこれらの圧力センサの測定値に基づいてヘリウムガスの流量や圧力などを制御する。なお、照明光学系、及び投影光学系PLの内部にそれぞれ温度センサ、及び湿度センサを更に配置し、それらのセンサの測定値も利用してヘリウムガスの温度や湿度をより正確に制御するようにしてもよい。

このように本例では、投影露光装置の露光光（紫外パルス光IL）の光路の大部分を流れるように供給されたヘリウムガスの大部分は、環境チャンバ7の上部空間7aを介して、あるいはケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLから直接、配管33を通して階下のヘリウム循環装置に回収されているため、高価なヘリウムの使用量を減らすことができる。従って、露光光に対する透過率を高め、光学素子の冷却効率を高めた上で、投影露光装置の運転コストを低減するこ

とができる。

なお、上記の実施の形態において、図1の冷凍装置37と混合温調装置43との間に、回収したヘリウムを保存するためのポンベ（例えば後述する図3中のポンベ50に相当するもの）を更に設けてもよい。この場合、大量に保存できるようにするために、コンプレッサによってヘリウムを100～200気圧程度に圧縮してそのポンベに収納することが望ましい。これによって体積はほぼ $1/100 \sim 1/200$ に減少する。更に、タービン等を用いた液化機によってヘリウムを液化して蓄積してもよい。液化によってヘリウムの体積はほぼ $1/700$ に減少できる。このように高圧縮、又は液化したヘリウムを再利用する際に、例えば1気圧程度の状態に戻したときには、膨張によって温度が下がるため、ヒータ等での加熱温度管理が必要となる。また、圧力を一定にするためのバッファ空間を設けることが望ましい。更に、混合温調装置43の上流側（ポンプ42側）に開閉バルブを設け、回収したヘリウムを保存するポンベから取り込むヘリウムの量を調整したり、あるいはその流路（配管41）の開閉を制御するようにしてもよい。この開閉バルブと配管47の開閉バルブ48とを併用することで、配管31に送るヘリウムの濃度調整をより一層容易に行うことができる。

なお、上記の実施の形態では、ヘリウムガスは露光光の光路の大部分を流通するように供給されているが、更にその光路の全部を覆うと共に、かつレチクルステージ20やウエハステージ23の冷却効率も高めるために、環境チャンバ7内の全体にヘリウムガスを供給するようにしてもよい。この場合でも、大部分のヘリウムは回収されるため、運転コストの上昇は僅かである。

また、上記の実施の形態では、混合温調装置43によって回収されたヘリウムと高純度のヘリウムとを混合しているが、回収されたヘリウムの濃度（純度）が低いような場合には、単に混合しても急速には投影露光装置側に供給されるヘリウムの濃度を許容範囲まで高められない恐れがある。このような場合には、回収されたヘリウムは別のポンベに蓄えて、別の再生工場等で純度を高めるようにして、投影露光装置にはポンベ46内の高純度のヘリウムを供給するようにしてもよい。

なお、図1の投影露光装置では開閉バルブV11～V18を用いて、ケース1、

サブチャンバ6、及び投影光学系PL内にそれぞれヘリウムを充填（封入）しておくものとしたが、本例ではヘリウム循環装置を備えているので、例えば開閉バルブV16～V18を閉じた状態で、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLからそれぞれ漏れ出すヘリウムを補充するように、ヘリウムの流量を調整しながら常時供給するようにしてもよい。あるいは、開閉バルブV11～V18を開いたまま所定流量でヘリウムを常時供給するようにしてもよい。後者の方法では、特に開閉バルブV11～V18を設けなくてもよい。このとき、照明光学系、及び投影光学系PLの内部にそれぞれ設けられる圧力センサ（不図示）の測定値に基づいて、その内部での圧力がほぼ一定値に維持されるように、その供給するヘリウムの流量や圧力などを制御すればよい。

ここで、前述のようにヘリウムを常時供給する場合、不純物濃度計90で計測される不純物の濃度が所定の許容値に達した時点で開閉バルブV11を閉じるようにしているが、このとき投影露光装置全体の動作を統轄制御する主制御系（不図示）は露光装置本体での動作を確認し、例えばウエハの露光処理の途中であるときには、制御系45に対してその露光処理が終了するまで開閉バルブV11を閉じる動作（閉成）を待つように指令を送るようにする。又は、その主制御系は、不純物の濃度が許容値に達する直前では、次のウエハの露光処理を開始させることなく開閉バルブV11を閉じさせて、前述のように不純物濃度を所定値以下に下げる動作を開始させるようにしてもよい。

また、本例では前述の不純物の混入を考慮して、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PL内のヘリウムを交換する、あるいはヘリウムを循環させるために、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLの各々と配管33とを配管92～94で接続した。しかしながら、回収したヘリウムを精度良く浄化（純化）でき、不純物の混入が無視できる程度であり、照明光学系や投影光学系PLの内部で不純物がほぼ発生しない状態であれば、その配管92～94（及び開閉バルブV16～V18）は設けなくともよい。このとき、更に開閉バルブV11～V15を設けなくともよい。この場合、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLからそれぞれヘリウムが漏れ出すので、それを補充する、即ちヘリウム濃度が許容値以上に維持されるように、ヘリウムを常時若しくは随時（又は定

期的に) 供給すればよい。

更に、本例では図1のF<sub>2</sub> レーザ光源3とBMU4とをケース1内に収納するものとしたが、F<sub>2</sub> レーザ光源3とは別にBMU4などを筐体に収納し、F<sub>2</sub> レーザ光源3とその筐体とにそれぞれヘリウムを供給するようにしてもよい。このとき、F<sub>2</sub> レーザ光源3とその筐体とを機械的に接続し、両者の仕切板としてF<sub>2</sub> レーザが透過するガラスプレートを設ければよい。

次に、本例の窒素循環装置につき詳細に説明する。本例では、図2の配管88を介して図1の環境チャンバ7内に窒素ガス(N<sub>2</sub>)を供給すると共に、配管95, 33を介してその環境チャンバ7から窒素を回収している、即ち環境チャンバ7内で窒素を循環させている。

さて、図1の冷凍装置37でヘリウムなどと分離された窒素は、ポンプ39によって吸引されて配管38を通して図2のポンベ40に回収される。更に、ポンベ40内の窒素は、ポンプ83によって吸引されて配管81を通して温調装置86に送られる。配管81の途中には開閉バルブV21が設けられると共に、温調装置86に送られる窒素の濃度を計測する窒素濃度計(又は酸素濃度計)82が設置されており、この濃度計の測定値が制御系45に供給されている。制御系45は、濃度計82で計測される窒素濃度が所定値に達していないときに、窒素ポンベ84と温調装置86とを接続する配管85の開閉バルブV22を開放して、ポンベ84から温調装置86に高純度の窒素を供給する。一方、窒素濃度がその所定値以上であるときには、制御系45は開閉バルブV22を閉じておく。なお、濃度計82で計測される窒素濃度が極端に低いときは、開閉バルブV21を閉じて窒素ポンベ84からの窒素のみを温調装置86に送るようにしてもよい。そして、濃度計82で計測される窒素濃度が許容値(前述の所定値よりも小さい値)に達した時点で、開閉バルブV21を開放すればよい。

更に温調装置86は、回収、浄化された窒素と窒素ポンベ84からの窒素とを混合して所定の温度、圧力、湿度に制御し、この温度、圧力、及び湿度が制御された窒素ガスを床F1を貫通する配管88に供給する。配管88の途中で、床F1の底面側に送風用のポンプ(又はファン)87が設けられており、このポンプ87によって窒素が図1の配管88の分岐管88a, 88bを通して環境チャン



バ7内に供給される。分岐管88aは、投影光学系PLとウエハWとの間の露光の光路に向けて窒素ガスを吹き出し、分岐管88bはサブチャンバ6と投影光学系PLとの間の露光の光路（レチクルRの上下の空間）に向けて窒素ガスを吹き出している。

また、配管88には床F1の上面側に開閉バルブV23が設置され、開閉バルブV23よりも上流側（ポンプ87側）の配管88内に、窒素に混入している不純物（前述のシリコン系有機物などを含む）の濃度を検出する不純物濃度計89が配置されている。この不純物濃度計89で計測される不純物濃度が所定の許容値以上となったときは、制御系45は、開閉バルブV23を閉じて投影露光装置への窒素の供給を停止し、例えば不純物除去装置80のフィルタ交換を行う。あるいは、回収した窒素を不純物と共にその窒素循環装置外に放出する。しかる後、開閉バルブV23（及び開閉バルブV24、V25）を開けて窒素の供給を再開すると共に、図1の配管95の開閉バルブV19も開けて窒素を循環させる。そして、不純物濃度が許容値よりも低いことが確認された時点で、開閉バルブV19を閉じる。更に、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値に達した時点で開閉バルブV24、V25を順次閉じていく。そして、ウエハステージ23に設けられた光検出器（不図示）を用いて、投影光学系PLの透過率（又はウエハW上での照度）、更にはレチクルR又はウエハW上での照度分布を検出し、これらの検出結果に基づいてウエハWへの露光を開始する。

なお、上記の実施の形態において、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値に達した時点で窒素の供給を停止し、配管88（又はその分岐管88a、88b）、及び配管95をそれぞれ開閉バルブV23（又は開閉V24、V25）、及び開閉バルブV19で閉じると共に、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値よりも低くなったときに、開閉バルブV23（及び開閉バルブV24、V25）を開けて窒素を供給するようにしてもよい。

また、前述のフィルタ交換、又は回収した窒素の放出の代わりに、回収した窒素を保存するポンプ40を別のポンプと交換し、別の再生工場などでその純度を高めるようにし、環境チャンバ7には窒素ポンプ84内の高純度の窒素を供給するようにしてもよい。また、不純物濃度計89は配管88の内部以外の位置に配

置してもよく、例えば配管 8 1 内、又は配管 3 6 内で不純物除去装置 8 0 よりも下流側に配置してもよい。特に後者の配置では、前述の不純物濃度計 9 0 を設ける必要がなくなる、即ちヘリウム供給装置と窒素供給装置とで 1 つの不純物濃度計を兼用することが可能となる。

更に、図示していないが、環境チャンバ 7 内には窒素濃度計又は酸素濃度計が設けられており、環境チャンバ 7 内での窒素濃度が所定の許容値を下回らないように、制御系 4 5 はその濃度計の出力に基づいて開閉バルブ V 2 3 ~ V 2 5 の開閉を制御する。また、環境チャンバ 7 内には温度センサ、圧力センサ、及び湿度センサ（不図示）も配置されており、環境チャンバ 7 内での温度、圧力、及び湿度がそれぞれ所定値にほぼ維持されるように、制御系 4 5 はそれらセンサの測定値に基づいて、温調装置 8 6 やポンプ 8 7 などによってその供給する窒素の流量、温度、圧力、及び湿度などを調整する。

ところで、本例では図 1 において、配管 8 8 の第 1 の分岐管 8 8 a の排出口を投影光学系 P L とウエハ W との間の近傍に設置し、投影光学系 P L とウエハ W との間を窒素が流れるようにしている。一方、配管 8 8 の第 2 の分岐管 8 8 b は更に 2 つに分岐され、一方の排出口はコンデンサレンズ 1 9 とレチクル R との間の近傍に設置され、他方の排出口はレチクル R と投影光学系 P L との間に設置されている。そこで、分岐管 8 8 a, 8 8 b からそれぞれ窒素が常時噴き出されるように、開閉バルブ V 1 9 の開閉を制御して環境チャンバ 7 内で窒素を循環させるとよい。この場合、照明光学系（コンデンサレンズ 1 9）と投影光学系 P L との間、及び投影光学系 P L とウエハ W との間に純度の高い窒素を優先的に供給することができるので、レチクル R 又はウエハ W の交換時などに環境チャンバ 7 の開閉によってその内部の窒素濃度が低下しても、その交換動作終了後直ぐに露光動作又は準備動作を開始することができ、スループットの低下を最小限に抑えることが可能となる。また、分岐管 8 8 a, 8 8 b を設けずに配管 8 8 を環境チャンバ 7 に接続しただけで窒素を循環させる場合に比べて窒素の供給量を少なくすることができる。更に、露光光の照射時にウエハ W（レジスト表面）から発生する飛散粒子（汚染物質）が投影光学系 P L（最もウエハ側の光学素子の表面）に付着することを大幅に低減することもできる。なお、環境チャンバ 7 内で窒素を循

環させる場合、その汚染物質が窒素と共にその外部に排出され、環境チャンバ7内でのクリーン度を高めることができる。

なお、本例では環境チャンバ7内を窒素雰囲気としたが、例えば不純物が除去された空気を環境チャンバ7に供給し、前述のように照明光学系と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間に窒素を供給してその両空間を窒素雰囲気とするだけでもよい。このとき、窒素の代わりにヘリウムを供給するようにしてもよく、この場合は窒素循環装置を設ける必要がなくなり、例えば配管31と分岐管88a、88bとを接続して、上記両空間にそれぞれヘリウムを供給すればよい。また、環境チャンバ7に供給する空気として、前述の有機物などが除去された化学的にクリーンなドライエア（例えば湿度が5%程度以下）を用いてもよい。なお、この構成はArFエキシマレーザを露光用光源として用いる投影露光装置に対して特に有効であり、この場合はケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLにそれぞれ窒素を供給するようにしてもよいし、あるいはケース1、及びサブチャンバ7には窒素を供給し、投影光学系PLにはヘリウムを供給するようにしてもよい。

また、本例では環境チャンバ7内に窒素（又はヘリウム）などを供給するものとしたが、露光用照明光の波長域によっては環境チャンバ7内に化学的にクリーンで、かつ温度制御された空気（前述のドライエア）を供給するだけでもよい。例えば、露光波長が190nm程度以上であれば、環境チャンバ7内を空気雰囲気としてもよい。この場合、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLにそれぞれ供給されるヘリウム、又は窒素などを回収する循環装置と同様に、環境チャンバ8に供給されるドライエアを回収するドライエア循環装置を設けてもよく、例えば配管33を介さずに配管95のみによって環境チャンバ8とそのドライエア循環装置とを接続してもよい。

更に、前述したヘリウム循環装置と同様に、回収した窒素をコンプレッサによって100～200気圧程度に圧縮するか、あるいはタービンなどを用いた液化機によって液化してボンベ40に保存するようにしてもよい。なお、分岐管88a、88bにそれぞれ設けた開閉バルブV24、V25は、照明光学系と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間の一方のみに窒素を供給

可能とするものであり、両空間に窒素を同時に供給する場合には開閉バルブV 2 4, V 2 5を設けなくてもよい。

また、本例では照明光学系と投影光学系P Lとの間、及び投影光学系P LとウエハWとの間にそれぞれ窒素を流すようにしたが、分岐管8 8 a, 8 8 bを設けず、単に環境チャンバ7に配管8 8を接続して、環境チャンバ7内での窒素濃度が所定値以上となった時点で開閉バルブV 2 3を閉じるようにしてもよい。また、分岐管8 8 a, 8 8 bの有無にかかわらず、開閉バルブV 2 3, V 1 9を開けたまま所定流量で窒素を供給して環境チャンバ7内で窒素を循環させるようにしてもよい。この場合、特に開閉バルブV 2 3, V 1 9を設けなくてもよい。

更に、本例では照明光学系の大部分をサブチャンバ6に収納し、サブチャンバ6の一部を環境チャンバ7内に設置したが、例えばサブチャンバ6の全てを環境チャンバ7内に設置してもよい。この場合、サブチャンバ6から漏れ出すヘリウムの回収率を向上させることができる。また、環境チャンバ7外に設置されるサブチャンバ6の一部から漏れ出すヘリウムをも回収するために、環境チャンバ7外のサブチャンバ6を所定の筐体で覆い、その筐体上部に配管3 3の別の流入口を接続してもよい。

また、本例ではケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P Lにそれぞれ単一の気体（窒素、又はヘリウム）を供給するものとしたが、例えば窒素とヘリウムとを所定比で混合した気体を供給するようにしてもよい。この場合、ヘリウム循環装置の配管3 1に対してその開閉バルブV 1 1よりも下流側で窒素循環装置の配管8 8を接続すればよい。なお、混合気体は窒素とヘリウムとの組み合わせに限られるものではなく、ネオン、水素などと組み合わせてもよい。また、環境チャンバ7に供給する気体も前述の混合気体であってもよい。

次に、本発明の第2の実施の形態につき図3を参照して説明する。本例は複数台の投影露光装置からのヘリウムを1台のヘリウム回収装置で回収するものであり、図3において、図1、図2に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。なお、図1、図2中に示したケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系P Lの各々と配管3 3とを接続する配管9 2～9 4、及び環境チャンバ7と配管3 3とを接続する配管9 5は図示省略している。

図3は、本例の複数台の投影露光装置、及び1台のヘリウム回収装置を示す断面図であり、この図3において、床F1上に複数個の環境チャンバ7A、7B、7Cが設置され、各環境チャンバ7A、7B、7C内にそれぞれ図1の露光本体部26と同様の露光本体部が設置され、かつ不図示の露光光源が近接して配置されている。そして、環境チャンバ7A、7B、7C内にそれぞれ階下の不図示のヘリウム供給装置から所定の純度以上のヘリウムガスが供給されている。そして、環境チャンバ7A、7B、7C内に供給されて内部の天井近傍の空間に上昇したヘリウム、窒素、及び空気の混合気体は、それぞれ配管33A、33B、33Cを介して共通配管49に導かれている。共通配管49は、床F1の開口を通過して階下の床F2上のヘリウム回収装置に通じている。共通配管49の床F1の底面側には吸引用のポンプ34が設置されている。

階下のヘリウム回収装置において、共通配管49及び吸引用のポンプ34を介して回収されたヘリウム、窒素、及び空気の混合気体は、集塵排水装置35、不純物除去装置80、配管36を経て冷凍装置37に達し、冷凍装置37で液化された窒素はポンベ40に回収される。そして、冷凍装置37で液化されなかったヘリウムは、配管41及び吸引用のポンプ42によってヘリウムを蓄積するためのポンベ50に例えば高圧で圧縮されて回収される。回収されたヘリウムは、ポンベ50に設けられた配管51を介して、純度を高めるための再生工場、又は図1中に示したヘリウム供給装置に供給される。

ところで、前述の第1実施の形態(図1、図2)で説明したように、図3中のヘリウム回収装置(33A~33C、34~42、49、50)は窒素回収装置を兼ねている。そこで、複数台の投影露光装置と1台の窒素供給装置(図2中の配管81~配管88までの部材)とを接続し、この窒素供給装置によってポンベ40に保存された窒素を複数台の投影露光装置にそれぞれ供給するようにしてもよい。これにより、複数台の投影露光装置で1台の窒素循環装置を兼用することが可能となる。

このように本例では、複数台の露光装置に対して1台のヘリウム回収装置、及び窒素循環装置で対応しているため、回収コストが低減されている。

次に、図4を参照して図1及び図2の第1の実施の形態の投影露光装置の変形

例につき説明する。本例は、環境チャンバ7内に配置されるレチクルステージ20とウエハステージ23とをそれぞれサブチャンバCH1、CH2内に収納したものであり、図4において、図1に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

図4において、サブチャンバCH1は照明光学系（コンデンサレンズ19）と投影光学系PLとの間の光路が空気に曝されないように、その間の空間を密閉して窒素雰囲気とするものであり、配管88の分岐管88b、及び配管33に接続される配管96が接続され、配管96には開閉バルブV20が設けられている。図4では、サブチャンバCH1は投影光学系PLと接続されているが、実際にはサブチャンバCH1の振動が投影光学系PLに伝わらない構造となっている。なお、サブチャンバCH1はサブチャンバ6と一体的に構成してもよく、更にはサブチャンバCH1を投影光学系PLが固定される架台とは別の架台を介して床F1上に固定してもよい。

一方、サブチャンバCH2は床F1（正確には露光装置本体が配置されるベースプレート）上に固定されると共に、投影光学系PL（最もウエハ側の光学素子）とウエハWとの間の光路が空気に曝されないように、その間の空間を密閉して窒素雰囲気とするものであり、配管88の分岐管88a、及び配管95が接続されている。また、サブチャンバCH1と同様にサブチャンバCH2もその振動が投影光学系PLに伝わらない構造となっている。

なお、サブチャンバCH1、CH2ではその内部の窒素濃度が所定値以上となった時点でその前後の開閉バルブ（開閉バルブV25とV20、又は開閉バルブV24とV19）を閉じるようにしてもよいし、あるいはそれらの開閉バルブを開けたまま所定流量で窒素を循環させるようにしてもよい。また、サブチャンバCH1、CH2にそれぞれ配管31の分岐管を接続して、窒素の代わりにヘリウムを供給するようにしてもよい。

図示していないが、ウエハステージ23の位置情報を検出するレーザ干渉計、ウエハW上のアライメントマーク等を検出するオフ・アクシス方式のアライメント光学系、又はウエハWの表面位置を検出する斜入射光方式の位置検出光学系の少なくとも一部はサブチャンバCH2内に配置されている。なお、アライメント

光学系や位置検出光学系の光源、及びディテクタ等はサブチャンバCH2の外に配置することが好ましい。また、レチクルステージ20、及びウエハステージ23の位置制御に用いるレーザ干渉計（不図示）もそれぞれサブチャンバCH1、CH2内に配置されている。

更に、本例では循環チャンバ7は空調機（不図示）と接続されており、サブチャンバ6、CH1、CH2以外の空間で、前述の不純物（有機物等）が除去され、かつ温度、圧力、及び湿度が制御された空気が循環され、環境チャンバ7内の環境（温度等）がほぼ一定に維持されるようになっている。なお、環境チャンバ7内の空気がサブチャンバCH1、CH2に混入しないように、サブチャンバCH1、CH2内の圧力を環境チャンバ7内の圧力よりも高く設定しておくことが望ましい。

このように本例では、照明光学系と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間での露光光（紫外パルス光IL）の減衰を防止することができると共に、環境チャンバ7の内部全体を窒素雰囲気にする場合に比べて窒素の供給量（使用量）が少なく済み、かつ露光光の照射によってレジスト表面から発生する汚染物質を効率よくサブチャンバCH2の外に排出することができる。なお、本例はサブチャンバCH1、CH2、及び上記空調機以外の構成は図1と同一であり、第1及び第2の実施の形態で説明した変形例もそのまま適用することができる。例えば、サブチャンバCH2内で分岐管88aを延長して、図1と同様に投影光学系PLとウエハWとの間に窒素を噴き付ける（流す）ようにしてもよく、これによって投影光学系PLへの汚染物質の付着量が低減でき、かつ汚染物質の回収（排出）を効率よく行うことができる。なお、本例ではサブチャンバCH1、CH2にそれぞれ窒素、又はヘリウムを供給するものとしたが、これら以外の不活性ガス（ネオン、水素など）、又はこれらを組み合わせた混合気体を供給してもよいし、あるいは露光光の波長によっては（例えば波長が190nm程度以上の場合には）前述した化学的にクリーンなドライエアを供給するようにしてもよい。また、サブチャンバCH1、CH2にそれぞれ窒素などを供給する代わりに、その内部を真空としてもよい。

さて、図1～図4に示した投影露光装置ではアライメント光学系や斜入射光方

式の焦点検出光学系等を図示していないが、照明光学系の大部分を収納するサブチャンバ6と同様に、アライメント光学系、又は焦点検出光学系の少なくとも一部を対応する筐体内に収納し、その筐体内に窒素、又はヘリウム等を供給するように構成してもよい。この場合、その筐体に配管31又は配管88の分岐管を接続すればよく、更に必要ならばその筐体と配管33とを接続してもよい。

また、レチクルステージ20にレチクルRを搬送するレチクルローダ、及びウエハステージ23にウエハWを搬送するウエハローダも図示されていないが、レチクルローダ及びウエハローダはそれぞれ独立にサブチャンバに収納され、それらサブチャンバは環境チャンバ7（図4の例ではサブチャンバCH1、CH2）に接続されている。この場合、レチクルローダ、又はウエハローダが配置されるサブチャンバ内に窒素、又はドライエア等を供給するように、例えば配管88の分岐管をそのサブチャンバに接続してもよいし、あるいはそのチャンバ内には前述の不純物が除去され、温度等が制御された空気を供給するだけでもよい。前者では、更にサブチャンバと配管33とを接続して窒素を循環させるように構成してもよく、後者では特に環境チャンバ7（サブチャンバCH1、CH2）に窒素、ヘリウム、又はドライエア等が供給されているときは、レチクルローダ、又はウエハローダが配置されるサブチャンバ内の空気が流入しないように、その内部圧力よりも環境チャンバ7（又はサブチャンバCH1、CH2）内の圧力を高く設定しておくともよい。

更に、前述の実施の形態では環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1、CH2に窒素、又はヘリウムを供給するものとしたので、その内部に設置される酸素濃度計の測定値が所定値（例えば空気中の酸素濃度と同程度）を下回っているときは、オペレータが環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1、CH2を開放できないようにその扉がロックされるようになっている。また、電源の供給が停止されたときなどは、窒素又はヘリウムの供給が自動的に停止され、かつ回収用配管95などとは別に環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1、CH2に接続される排気ダクトの開閉バルブ（ノーマル・クローズ・バルブ）が開放されて、その内部の窒素又はヘリウムの濃度を下げるようになっている。更に、オペレータが環境チャンバ7、又はサブチャンバCH1、CH2を開けるときは、窒素又は



ヘリウムの供給が停止されると共に、その内部に酸素が供給されるように酸素ボンベが接続されている。これにより、酸素濃度が前述の所定値に達するまでの時間を短縮することができる。ここで、前述した不活性ガス（窒素又はヘリウムなど）の供給停止は、環境チャンバ7、サブチャンバ6、CH1、CH2、及びケース1の開放時、即ち露光装置（例えば、F<sub>2</sub>レーザ光源3、照明光学系、投影光学系PL、レチクルステージ20、及びウエハステージ23など）のメンテナンス時、ウエハカセット又はレチクルケースの交換時、及び露光装置への電源供給の停止時などに行われる。このとき、不活性ガスの供給停止と同時に、ケース1、サブチャンバ6、及び投影光学系PLにそれぞれ前述した化学的にクリーンなドライエアを供給するようにして、不活性ガスの供給停止に伴う光学素子表面での曇りの発生を防止することが望ましい。

なお、配管95などとは別に環境チャンバ7に接続する前述の排気ダクトは、環境チャンバ7内の酸素濃度を早急に前述の所定値以上とするために、配管95などに比べてその排気能力が大幅に大きい。また、その排気ダクトの他端はクリーンルーム（半導体工場）外、即ち大気中に開放するようにしてもよいが、大容量のタンクなどに接続して不活性ガスを回収するように構成しておくことが望ましい。このタンクに回収された不活性ガスは、配管を通じて前述のヘリウム回収装置に送るようにしてもよいし、あるいは再生装置でその純度を高めるようにしてもよい。

また、上記の実施の形態では、露光エネルギービームに対する透過率が高く（不活性で）、かつ熱伝導率が良好な気体としてヘリウムガスが使用されているが、そのような気体としてヘリウム以外の気体（例えばネオン（Ne）、水素（H<sub>2</sub>）、又はヘリウムと窒素との混合気体等）を使用する場合にも本発明が適用できる。また、例えば波長が190nm程度以上である露光光を用いる露光装置では、投影光学系PL等に供給する気体として窒素（特に純度の高いもの）も使用することができるが、この場合にも本発明を適用してもよい。

また、上記の実施の形態では、F<sub>2</sub>レーザを露光用光源として用いたが、例えばKrFエキシマレーザ（波長248nm）、ArFエキシマレーザ（波長193nm）、Kr<sub>2</sub>レーザ（波長147nm）、又はAr<sub>2</sub>レーザ（波長126nm）

m)等を用いてもよく、これらの光源を備えた露光装置に対しても本発明を適用することができる。但し、例えばKrFエキシマレーザを用いる露光装置では、投影光学系内の空気を窒素、又はヘリウム等に置換する必要はなく、KrFエキシマレーザ光源、及び照明光学系内の空気を窒素等に置換するだけでよい。また、環境チャンバ7に供給する気体は窒素等である必要はなく、前述の不純物が除去された空気を用いることができる。このように光源と照明光学系とに、あるいは照明光学系のみ窒素等を供給する露光装置であっても本発明を適用することができる。なお、この種の露光装置では窒素の代わりに、前述した化学的にクリーンなドライエアを用いることもできるが、このドライエアを用いる露光装置にしても本発明を適用することができる。

更に、エキシマレーザの代わりに、露光光として例えば波長248nm、193nm、157nmの何れか、又はこれらの近傍に発振スペクトルを持つYAGレーザ等の固体レーザの高調波を用いる場合にも本発明が適用される。また、露光光として、例えばDFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム(Er)(又はエルビウムとイッテルビウム(Yb)との両方)がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いる場合にも本発明が適用される。

具体的には、単一波長レーザの発振波長を1.51~1.59 $\mu$ mの範囲内とすると、発生波長が189~199nmの範囲内である8倍高調波、又は発生波長が151~159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.544~1.553 $\mu$ mの範囲内とすると、193~194nmの範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を1.57~1.58 $\mu$ mの範囲内とすると、157~158nmの範囲内の10倍高調波、即ちF<sub>2</sub>レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を1.03~1.12 $\mu$ mの範囲内とすると発生波長が147~160nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099~1.106 $\mu$ mの範囲内とすると、発生波長が157~158nmの範囲内の

7倍高調波、即ちF<sub>2</sub> レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしてはイッテルビウム・ドープ・ファイバーレーザ等を用いることができる。

更に、本発明を適用する露光装置は、一括露光型（例えばステップ・アンド・リピート方式）、又は走査露光型（例えばステップ・アンド・スキャン方式）の何れであってもよい。また、ミラープロジェクション方式、又はプロキシミティ方式の露光装置に対しても本発明を適用することができる。なお、投影光学系が使用される場合、その光学系は屈折系、反射系、又は反射屈折系の何れであってもよいし、更には縮小系、等倍系、又は拡大系の何れであってもよい。

更に、半導体素子、液晶表示素子（ディスプレイ装置）、薄膜磁気ヘッド、及び撮像素子（CCD）等のマイクロデバイスの製造に用いられる露光装置だけでなく、レチクル、又はマスクを製造するために、ガラス基板、又はシリコンウエハ等に回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光等を用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、蛍石、フッ化マグネシウム、又は水晶等が用いられる。また、EUV光（極端紫外光）を露光エネルギービームとする露光装置では反射型マスクが用いられ、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置等では透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハ等が用いられる。

ところで、複数の光学素子から構成される照明光学系、及び投影光学系を露光装置本体に組み込んで光学調整を行うと共に、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続すると共に、ケース1、照明光学系（サブチャンバ6）、投影光学系PL、及び環境チャンバ7をそれぞれヘリウム循環装置や窒素循環装置等と接続し、更に、総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより上記実施の形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設

計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを制作するステップ、前述の実施の形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

続いて、本発明の第3の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、露光光の光路の大部分にヘリウムガスが供給される半導体素子製造用のステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。

図5は、本例の投影露光装置、及びヘリウム供給装置の概略構成を示し、この図5において、半導体製造工場の或る階の床F101上のクリーンルーム内に投影露光装置が設置され、その階下の床F102上のいわゆる機械室（ユーティリティスペース）内に、階上の投影露光装置にヘリウムガスを供給するヘリウム供給装置、及びそのヘリウムガスの一部を回収する回収装置が設置されている。このように発塵し易いと共に、振動発生源となり易い装置を、投影露光装置が設置されている階と別の階に設置することによって、投影露光装置が設置されているクリーンルーム内の清浄度を極めて高く設定できると共に、投影露光装置に対する振動の影響を小さくできる。

先ず、床F102上に圧縮されたヘリウムガスを蓄積したポンベ132が設置され、ポンベ132から階上の床F101に設けられた貫通孔を通過する配管131に、温度制御された所定圧力のヘリウムが供給されている。配管131の床F101の底面側に電磁式の開閉バルブ134、及び送風ファン133が設置され、これらによってヘリウムの供給量が制御されている。

次に、床F101上のクリーンルーム内において、防振台102A、102Bを介して箱状のケース101が設置され、ケース101内に露光光源としてのF2レーザ光源103（発振波長157nm）、露光本体部との間で光路を位置的にマッチングさせるための可動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）104、及び内部を露光光が通過する遮光性のパイプ105が設置されている。なお、露光光源としては、KrF、又はArF等のエキシマレーザ光源等も使用できる。また、ケース101の隣に箱状の気密性の良好な環境チャンバ107が設置され、環境チャンバ107内で床F101上に床からの振動を減衰する

ための防振台125A、125Bを介して定盤124が設置され、定盤124上に露光本体部126が設置されている。また、ケース101内から突き出ているパイプ105から環境チャンバ107の内部まで気密性の良好なサブチャンバ106が架設され、サブチャンバ106内に照明光学系の大部分が収納されている。

図5において、露光時に、ケース101内のF<sub>2</sub>レーザ光源103から射出された露光光としての波長157nmの紫外パルス光I<sub>L</sub>は、BMU104及びパイプ105の内部を経てサブチャンバ106内に至る。サブチャンバ106内において、紫外パルス光I<sub>L</sub>は、光アッテネータとしての可変減光器108、レンズ系109A、109Bよりなるビーム整形光学系を経てフライアイレンズ111に入射する。フライアイレンズ111の射出面には照明条件を種々に変更するための照明系の開口絞り系112が配置されている。

フライアイレンズ111から射出されて開口絞り系112中の所定の開口絞りを通じた紫外パルス光I<sub>L</sub>は、反射ミラー113、及びコンデンサレンズ系114を経てレチクルブラインド機構116内のスリット状の開口部を有する固定照明視野絞り（固定ブラインド）115Aに入射する。更に、レチクルブラインド機構116内には、固定ブラインド115Aとは別に照明視野領域の走査方向の幅を可変とするための可動ブラインド115Bが設けられ、この可動ブライント115Bによってレチクルステージの走査方向の移動ストロークの低減、及びレチクルRの遮光帯の幅の低減を図っている。

レチクルブラインド機構116の固定ブラインド115Aでスリット状に整形された紫外パルス光I<sub>L</sub>は、結像用レンズ系117、反射ミラー118、及び主コンデンサレンズ系119を介して、レチクルRの回路パターン領域上のスリット状の照明領域を一様な強度分布で照射する。本例では、遮光性のパイプ105の射出面から主コンデンサレンズ系119までがサブチャンバ106内に収納され、更にパイプ105の内部からF<sub>2</sub>レーザ光源103の射出面までの空間も密閉されて、サブチャンバ106内の空間に連通している。そして、サブチャンバ106内の空間には、階下のヘリウム供給装置から配管131の分岐管131a、及び分岐管131bを介して2箇所所定の純度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給されている。但し、ヘリウムは分子量が小さく漏れ易いため、サブチ

チャンバ106から自然に漏れ出たヘリウムの一部は上昇して環境チャンバ107の天井近傍の空間107aに溜まる。

紫外パルス光ILのもとで、レチクルRの照明領域内の回路パターンの像が投影光学系PLを介してウエハW上のレジスト層のスリット状の露光領域に転写される。その露光領域は、ウエハ上の複数のショット領域のうちの1つのショット領域上に位置している。本例の投影光学系PLは、ジオプトリック系（屈折系）であるが、このような短波長の紫外光を透過できる硝材は限られているため、投影光学系PLをカタジオプトリック系（反射屈折系）、又は反射系として、投影光学系PLでの紫外パルス光ILの透過率を高めるようにしてもよい。

そして、サブチャンバ106内と同様に本例の投影光学系PLの鏡筒内部の空間（複数のレンズ素子間の空間）の全体にも、階下のヘリウム供給装置より配管131の分岐管131bを介して、所定の濃度以上で温度制御されたヘリウムガスが供給されている。投影光学系PLの鏡筒から漏れ出るヘリウムも上昇して、環境チャンバ107の天井付近の空間107aに溜まる。以下では、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図5の紙面に平行にX軸、図5の紙面に垂直にY軸を取って説明する。

このとき、レチクルRは、レチクルステージ120上に吸着保持され、レチクルステージ120は、レチクルベース121上にX方向（走査方向）に等速移動できると共に、X方向、Y方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ120（レチクルR）の2次元的位置、及び回転角は、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。

一方、ウエハWは不図示のウエハホルダ上に吸着保持され、このウエハホルダは試料台122上に固定され、試料台122はXYステージ123上に固定され、XYステージ123は定盤124上に載置されている。試料台122、XYステージ123、及び不図示のガイド部材よりウエハステージが構成されており、試料台122はオートフォーカス方式でウエハWのフォーカス位置（Z方向の位置）、及び傾斜角を制御してウエハWの表面を投影光学系PLの像面に合わせ込む。また、XYステージ123は、ウエハWのX方向への等速移動、及びX方向、Y方向へのステップ移動を行う。XYステージ123（ウエハW）の2次元的位置

位置、及び回転角も、レーザ干渉計を備えた不図示の駆動制御ユニットに制御されている。走査露光時には、レチクルステージ120を介して紫外パルス光1Lの照明領域に対してレチクルRが+X方向（又は-X方向）に速度 $V_r$ で走査されるのに同期して、XYステージ123を介して露光領域に対してウエハWが-X方向（又は+X方向）に速度 $\beta \cdot V_r$ （ $\beta$ はレチクルRからウエハWへの投影倍率）で走査される。

また、本例のウエハステージ中のXYステージ123は、ガイド面に沿って静圧気体軸受方式で非接触に摺動する方式であり、その静圧気体軸受の気体として、紫外パルス光1Lの光路に供給されている気体と同じヘリウムが使用されている。また、定盤124を支持する防振台125A、125Bは、気体ばね方式であり、その気体ばね用の気体としてもヘリウムが使用されている。そのため、環境チャンバ107内に一時蓄積ポンベ127が設置され、一時蓄積ポンベ127に階下のヘリウム供給装置より配管131の分岐管131cを介してヘリウムが供給され、一時蓄積ポンベ127から可撓性の高い配管128（実際には複数の配管からなる）を介してXYステージ123にヘリウムが供給され、これと並列に可撓性の高い配管129（実際には複数の配管からなる）を介して防振台125A、125Bにもヘリウムが供給されている。XYステージ123の静圧気体軸受機構については後述する。

更に、本例では、環境チャンバ107の内部に階下の不図示の窒素循環装置から、酸素の含有量を極めて低く抑えたと共に、温度制御された窒素ガス（ $N_2$ ）が供給されている。そして、環境チャンバ107内を循環した窒素ガスは、例えば環境チャンバ107の底面側の排気孔（不図示）からその窒素循環装置に戻されている。なお、環境チャンバ107の内部の全体にも、窒素ガスの代わりにヘリウムを循環させてもよい。

次に、環境チャンバ107内で、サブチャンバ106から漏れ出たヘリウム、及び投影光学系PLやXYステージ123等から漏れ出たヘリウムは、環境チャンバ107の外部から混入してくる空気や窒素に比べて軽いため、上昇して天井近傍の空間107aに溜まる。本例では、環境チャンバ107の外部からその空間107aに配管135が接続され、配管135は、床F101に設けられた開

口を通過して階下のヘリウム回収装置に通じている。床F101の底面側の配管135の途中に吸引用のファン136が配置されており、配管135、及びファン136によってその空間107aから吸引された気体は、階下の床F102上の回収用のポンベ137に回収される。ポンベ137内には、集塵排水装置、及びヘリウムとその他の気体とを分離する分離装置等も備えられ、分離されたヘリウムが蓄積され、必要に応じて更に純度を高めるための工程に供給される。

次に、本例のウエハステージ側のXYステージ123の静圧気体軸受機構につき図6を参照して説明する。

図6は、図5中のウエハステージの一部をX方向から見た断面図を示し、この図6において、ウエハWは、試料台122を介して上板141に固定され、上板141の底面に底板142が固定され、底板142は定盤124の平坦に研磨された上面に載置されている。また、底板142をY方向に挟むように軸受板143A、143Bが固定され、軸受板143A、143BをY方向に挟むようにX方向に沿って平行に2本のXガイドバー144A、144Bが架設されている。上板141、底板142、及び軸受板143A、143BよりXYステージ123が構成され、XYステージ123は、不図示のリニアモータによってXガイドバー144A、144Bに沿ってX方向に駆動される。更に、Xガイドバー144A、144Bは一体となって、Y方向に伸びるように配置された2本のYガイドバー145A（もう1本は手前側に配置されている）に沿って不図示のリニアモータによってY方向に駆動される。

また、上板141から軸受板143Aにかけて通気孔147Aが形成され、上板141側の通気孔147Aに配管128Aを介して図5の一時蓄積ポンベ127から所定圧力に圧縮されたヘリウムが供給されており、そのヘリウムは軸受板143Aの噴出孔147Aaから、Xガイドバー144Aに噴出されている。同様に、上板141側の通気孔147Bに配管128Bを介して図5の一時蓄積ポンベ127から所定圧力に圧縮されたヘリウムが供給されており、そのヘリウムは軸受板143B内の噴出孔147BaからXガイドバー144Bに噴出されている。これによって、軸受板143A、143BはXガイドバー144A、144Bの間に所定のギャップを隔てて非接触で支持される。



更に、上板141から底板142にかけて通気孔148が形成され、上板141側の通気孔148に配管128Cを介して図5の一時蓄積ポンプ127から所定圧力に圧縮されたヘリウムが供給されており、そのヘリウムは底板142の底面に設けられている噴出孔148aから、定盤124上に噴出されている。底板142の底面の噴出孔148aを含む領域には浅い気体ポケット部142aが形成されており、この気体ポケット部142aに溜まった圧縮されたヘリウムによって、XYステージ123は定盤124の上面に浮上する。但し、XYステージ123が浮上し過ぎないように、底板142の底面の気体ポケット部142aの周囲に吸気孔149aが形成され、吸気孔149aは底板142、及び上板141内に設けられた通気孔149に通じている。通気孔149は可撓性の大きい配管146を介して不図示の真空ポンプに接続され、この真空ポンプによって底板142の吸気孔149aから定盤124上の気体（主にヘリウム）を吸引することによって、XYステージ123は定盤124上に非接触に安定に支持される。

このように本例のXYステージ123は、定盤124に対してZ方向にヘリウムを用いた気体軸受方式で非接触に載置され、Xガイドバー144A、144Bに対してY方向にヘリウムを用いた気体軸受方式で非接触に配置されているため、定盤124上をX方向、Y方向に極めて小さい駆動力で高速に移動することができる。

上述のように本例では、図5のF<sub>2</sub> レーザ光源103の射出面から主コンデンサレンズ系119までの紫外パルス光ILの光路、及び投影光学系PL内の紫外パルス光ILの光路に、150nm程度以下の光に対しても高い透過率を有するヘリウムガスが供給されている。また、主コンデンサレンズ系119から投影光学系PLの入射面まで、及び投影光学系PLの射出面からウエハWの表面までは、150nm程度以下の光に対してはあまり透過率の良くない窒素が供給されているが、その窒素ガス内を通過する光路は極めて短いため、窒素による吸収量も僅かである。従って、F<sub>2</sub> レーザ光源103から射出された紫外パルス光ILは、全体として高い透過率（利用効率）でウエハWの表面に達するため、露光時間（走査露光時間）を短縮でき、露光工程のスループットが向上する。

また、本例ではウエハ側のXYステージ123に使用されている静圧気体軸受

用の気体はヘリウムであると共に、防振台 125 A, 125 B に使用されている気体もヘリウムである。そのため、露光中に静圧気体軸受等の使用によって、紫外パルス光 I L の光路のヘリウムの純度が低下することが無いと共に、それ以外の紫外パルス光 I L の光路でも透過率の低い気体の増加が防止されるため、紫外パルス光 I L の全体としての透過率が低下することが無い。

また、窒素及びヘリウムは不活性であるため、紫外パルス光 I L の光路上の光学部材に化学反応による曇り物質が付着することがない。

また、ヘリウムは窒素に比べて熱伝導率が 6 倍程度良好であるため、照明光学系内の光学素子、及び投影光学系 P L の光学素子において紫外パルス光 I L の照射によって蓄積された熱エネルギーは、ヘリウムを介して効率的にそれぞれサブチャンバ 106 のカバー、及び投影光学系 P L の鏡筒に伝導する。また、サブチャンバ 106 のカバー、及び投影光学系 P L の鏡筒の熱エネルギーは、クリーンルーム内の温度制御された空気、又は環境チャンバ 107 内の温度制御された窒素ガスによって階下等の外部に効率的に廃熱される。従って、照明光学系、及び投影光学系 P L の光学素子の温度上昇が極めて低く抑えられて、結像性能の劣化が最小限に抑制される。更に、ヘリウムは気圧変化に対する屈折率の変化量が極めて少ないため、例えば投影光学系 P L 内での屈折率変化量が極めて少なくなり、この面でも安定な結像性能が維持される。

なお、投影露光装置に使用されている機器の中で気体を使用するものとしては、例えばレチクルロード系やウエハロード系等で搬送等に使用されている気体式のシリンダ装置もある。このシリンダ装置は、多数のピストンを備えており、所定のピストンを気体で伸縮させることによって所定の物体を移動させるものである。このようなシリンダ装置用の気体としてもヘリウムを使用することが望ましい。これによって紫外パルス光 I L の透過率が更に向上する。

なお、上記の実施の形態では露光エネルギービームとして F<sub>2</sub> レーザ光が使用されているが、露光エネルギービームとして、ArF エキシマレーザ光（波長 193 nm）、若しくは KrF エキシマレーザ光（波長 248 nm）、又は X 線等を使用する場合でも、その露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に透過率の良好な気体としてのヘリウム、又は窒素のような不活性ガスを供給する場合

には、本発明が適用できる。特に、KrFエキシマレーザ光のように波長が250nm～200nm程度の露光光を使用する場合には、透過率の良好な気体として安価な窒素を使用できる。このように窒素を使用する場合には、図6のXYステージ123の静圧気体軸受用の気体、及び図5の防振台125A、125B用の気体として窒素を使用することが望ましい。

一方、露光光として波長193nmのArFエキシマレーザ光を使用する投影露光装置において、投影光学系を反射屈折光学系より構成する際には、その光学系内にバージする気体としては屈折率の変化の少ないヘリウムを使用することが望ましい。この場合に、照明光学系内には窒素又はヘリウムの何れをバージしてもよいが、投影光学系内と同一の気体、即ちヘリウムを使用することが望ましい。また、ArFエキシマレーザ光を使用して、かつ屈折光学系よりなる投影光学系を使用する場合には、その投影光学系内にバージする気体として窒素を使用してもよいが、ヘリウムを使用することが望ましい。

また、本例では静圧気体軸受機構（図6）、エアシリンダ装置などで使用する気体として、照明光学系、及び投影光学系PLに供給するバージ用の不活性ガス（ヘリウム又は窒素など）と同一のものをを用いるとしたが、例えば投影光学系PLなどにはヘリウムを供給し、かつ環境チャンバ107内には窒素を供給する場合、照明光学系と投影光学系PLとの間、及び投影光学系PLとウエハWとの間はそれぞれ窒素雰囲気となるので、前述の静圧気体軸受機構などで窒素を用いるようにしてもよい。このとき、窒素とヘリウムとを所定比で混合した気体を静圧気体軸受機構などで使用してもよい。

さらに、前述の静圧気体軸受機構などで使用する第1気体は、照明光学系、及び投影光学系PLに供給するバージ用の第2気体（窒素、ヘリウムなどの不活性ガス）、又は環境チャンバ7に供給する第2気体（不活性ガス、又は化学的にクリーンなドライエアなど）とその組成が全く同一である必要はないし、あるいは組成が同一であってもその純度（濃度）までが同一である必要はない。例えば、第2気体を含む2種類以上の気体（不活性ガス）を混合した混合気体、又は第2気体と同一種類で、かつその純度が第2気体よりも低い気体を第1気体として用いてもよい。

また、露光光の減衰などを低減できる気体（不活性ガス）であれば、その気体が第2気体と異なっても第1気体として用いてもよい。即ち、第2気体と種類が異なってもその光学的な特性（透過率など）が第2気体と同一、又は近い気体であれば、その気体を第1気体として用いることができる。例えば、波長が200nm程度以下である真空紫外域の露光光を用いる露光装置で第2気体としてヘリウムを用いるとき、第1気体としてヘリウム以外の少なくとも1種類の不活性ガス（窒素など）を用いてもよい。さらに、例えば波長が190nm程度以上である露光光を用いる露光装置で、第2気体として窒素を用いるとき、第1気体として窒素以外の少なくとも1種類の不活性ガス、又は化学的にクリーンなドライエア（乾燥空気）を用いてもよい。ここで、化学的にクリーンとは前述のシリコン系有機物などを含む不純物が除去されていることを意味する。

また、本例の露光本体部126は、ステップ・アンド・スキャン方式であるが、一括露光型、又はプロキシミティ方式等であっても本発明が適用されるのは言うまでもない。

なお、上記の実施の形態では、F<sub>2</sub> レーザ光源103の射出面から主コンデンサレンズ系119までの紫外パルス光1Lの光路、及び投影光学系PL内の紫外パルス光1Lの光路にヘリウムガスが供給され、主コンデンサレンズ系119から投影光学系PLの入射面まで、及び投影光学系PLの射出面からウエハWの表面までは窒素が供給されているが、第1の実施の形態および第2の実施の形態に示したヘリウム循環装置および窒素循環装置を本例に適用することもできる。また、第1の実施の形態および第2の実施の形態で説明した変形例もそのまま適用することができる。

なお、前述の第1～第3の実施の形態では、オプチカルインテグレータ（ホモジナイザー）としてフライアイレンズを用いるものとしたが、フライアイレンズの代わりにロッドインテグレータを用いてもよいし、あるいはフライアイレンズとロッドインテグレータとを組み合わせ用いるようにしてもよい。

図7は、図1の第1の実施の形態、図4に示した第2の実施の形態、および図5に示した第3の実施の形態における投影光学系PLの光学素子の保持構造の好適な一例を模式的に示す図である。

筒状の鏡筒L B内には5枚の屈折型レンズL 2 0 1～L 2 0 5がレンズ保持筒2 5 1, 2 5 2を介して保持され、鏡筒L Bのレチクル側端にはディストーション、特に非回転対称成分を補正する平行平板L 2 1 1がレンズ保持筒2 5 3を介して保持され、鏡筒L Bのウエハ側端には球面収差を補正する平行平板L 2 1 2と偏心コマ収差を補正する平行平板L 2 1 3とがレンズ保持部材2 5 4を介して保持されている。

レンズL 2 0 1, L 2 0 2は板ばね2 6 1で保持筒2 5 1に押圧保持されている。図8に詳細を示すように、板ばね2 6 1の一端はレンズ保持筒2 5 1の突部2 5 1 aにボルト2 6 2で螺着され、他端はレンズL 2 0 1の外周部の押圧平面部に押圧され、これにより、レンズL 2 0 1が突部2 5 1 aに押圧されて挟持される。レンズL 2 0 2も同様にしてレンズ鏡筒L Bに固定される。レンズL 2 0 1もL 2 0 2も接着剤（又は充填材）は一切用いることなく保持筒2 5 1を介してレンズ鏡筒L Bに保持される。

図7に示すように、レンズL 2 0 3～L 2 0 5はねじ環2 6 3で保持筒2 5 2に押圧保持されている。保持筒2 5 2の内壁には雌ねじが刻設され、ねじ環2 6 3が螺合されている。ねじ環2 6 3を螺進させてその端面をレンズL 2 0 3～L 2 0 5の外周部の押圧平面部に押圧すると、レンズL 2 0 3～L 2 0 5は保持筒2 5 2の突部2 5 2 aに押圧されて挟持される。レンズL 2 0 3～L 2 0 5も接着剤（又は充填材）は一切用いることなく保持筒2 5 2を介してレンズ鏡筒L Bに保持される。

図7に示すように、平行平板L 2 1 1は板ばね2 7 1で保持筒2 5 3に押圧保持されている。保持筒2 5 3は鏡筒L Bに螺着されている。板ばね2 7 1の一端は保持筒2 5 3にボルト2 7 2で螺着され、他端は平行平板L 2 1 1の外周部に押圧され、これにより、平行平板L 2 1 1が保持筒2 5 3に押圧されて挟持される。平行平板L 2 1 1も接着剤（又は充填材）は一切用いることなく保持筒2 5 3を介してレンズ鏡筒L Bに保持される。

図7に示すように、平行平板L 2 1 2は板ばね2 7 3で保持筒2 5 4に押圧保持されている。板ばね2 7 3の一端は保持筒2 5 4にボルト2 7 4で螺着され、他端は平行平板L 2 1 2の外周部に押圧され、これにより、平行平板L 2 1

2が保持筒254に押圧されて挟持される。保持筒254は保持筒252と鏡筒LBとの間に挟持されている。平行平板L213は平行平板L211との間にスペーシング275を挟んで保持筒254に固定される。平行平板L212, L213も接着剤(又は充填材)は一切用いることなく保持筒254を介して鏡筒LBに保持される。

なお、板ばね261, 271, 273としてリング状板ばねを使用することができるが、帯状の複数の板ばねを所定角度ごとに配置してもよい。また以上では、板ばねあるいはねじ環により光学素子を保持筒に押し付けて保持するようにしたが、他の形態の要素で光学素子を保持してもよい。

次に図9, 図10によりフライアイレンズ11, 111の詳細を説明する。

図9, 図10に示すように、フライアイレンズ11, 111は、4角柱形状の複数のロッドレンズL260を図10(b)に示すようにマトリクス状に配置して保持装置280で束ねて構成したものである。保持装置280は内側にロッドレンズL260を束ねて収容する矩形環状の枠281, 282と、枠281, 282で束ねられているロッドレンズL260を4方の側面で押さえる押さえ板283~286と、ロッドレンズL260の一方の端面に配設されロッドレンズL260の光軸方向の位置を揃えるための石英板287と、押さえ板283~286を介してロッドレンズL260を側方から押圧するための押さえブロック288~291と、一端が押さえブロック288~291に固定され他端で石英板287を押さえる押さえ板292~295とを備える。押さえブロック288~291は図示しない固定金具に取り付けられている。このように、ロッドレンズL260は接着材(又は充填材)を一切用いることなく束ねられて保持されている。なお、図10(b)において、斜線部分以外の領域がフライアイレンズとして有効に使用される領域である。

このように、レンズや反射鏡などの光学素子は接着剤を用いることなく板ばねやねじ環により保持筒などの保持部材に保持される。したがって、ArFエキシマレーザの照射により接着剤の有機溶剤が気化することがなくなり、有機物質により光学素子の表面を汚染することが防止される。その結果、光学系の透過率の低下が防止される。また、光学素子の表面に付着した汚染物質はエキシマレーザ

による光洗浄効果により光学素子表面から剥離され、露光時間が経過するとともに透過率が上昇し、エキシマレーザの照射が停止されると再び付着して透過率が低下する現象が知られているが、光学素子を接着剤を使用せずに保持部材に保持することにより、汚染物質自体の発生が抑制され、光学系の透過率の変動を抑制できる。

以上説明した投影光学系の一例と請求の範囲の要素との対応において、各種レンズ9A(109A)、9B(109B)、11(111)、13(113)、L201、L202…が光学素子を、保持筒251、252、253、254などが保持部材を、板ばね261、271、273や押さえ環263が押し付け機構をそれぞれ構成する。

#### 産業上の利用可能性

本発明の露光装置及びデバイス製造装置によれば、露光エネルギービーム（露光光）に対する透過率が高く熱伝導率の良好な気体の少なくとも一部を回収しているため、露光エネルギービームの利用効率を高め、かつ露光装置の光学部材等の冷却効率を高めた上で、その気体の使用量を抑制できる利点がある。即ち、その気体を或る程度までリサイクルできて、露光装置の運転コストを低減できる。

また、その気体がヘリウムである場合には、ヘリウムは透過率が高く熱伝導率が高い上に安全であるため、特に露光エネルギービームの利用効率を高めて冷却効率も高められる。一方、ヘリウムは存在度が低く高価であるため、本発明による運転コストの低減効果は特に大きい。

また、気体回収装置は、複数の露光装置で共用される場合には、回収コストを更に低減できる。

また、気体回収装置で回収された気体を気体供給装置の少なくとも一部を介して露光エネルギービームの光路上に再循環させる場合には、補充用の気体の量を減らすことができる。

また、気体供給装置は、気体回収装置から供給される気体の濃度を計測する濃度計と、その気体が封入された気体源と、その濃度計の計測結果に応じてその気

体源からの気体をその気体回収装置から供給される気体に補充する制御部と、を有する場合には、露光エネルギービームの光路上に所定の純度（濃度）以上のその気体を常に供給できる利点がある。また、その気体を高圧に圧縮して、又は液化して保存するときには、狭い空間にその気体を大量に保存できる。

また、本発明の露光装置によれば、露光エネルギービーム（露光光）の光路の少なくとも一部に所定の透過率の高い気体（第2の気体）を供給する場合に、気体制御式駆動装置用の気体をその透過率の高い第2の気体と同種類にしている。従って、その第2の気体の濃度が低くなることが無いため、その露光エネルギービームを高い効率で基板まで導くことができ、露光工程のスループットが向上する利点がある。

また、気体制御式駆動装置は、気体軸受け方式でガイド面と接触するステージ装置である場合には、このステージはマスクや基板に近い位置に配置されるため、特に露光エネルギービームの透過率が高く維持される。

また、その露光エネルギービームが250nm以下の波長の紫外光である場合に、その第2の気体を窒素、又はヘリウムとする場合、窒素は安価であると共に、ヘリウムは透過率が高く、かつ熱伝導率が良好である。

また、その露光エネルギービームがX線である場合に、その第2の気体を窒素、又はヘリウムとする場合、X線がそれらの気体を通過する距離が短ければ或る程度の透過率が得られる。

さらに、本発明の露光装置によれば、照明光学系と投影光学系の光学素子の全てを接着剤を用いることなく押し付け機構により保持部材に保持するようにしたので、紫外光の照射により接着剤の有機溶剤が気化して光学素子の表面を汚染することが防止され、透過率の低下や変動を抑制できる。また、複数のロッドレンズで構成されるフライアイレンズを接着剤を使用せずに束ねるようにしたので、紫外光の照射により接着剤の有機溶剤が気化して光学素子の表面を汚染することが防止され、透過率の低下や変動を抑制できる。



## 請求の範囲

1. 転写用のパターンが形成されたマスクに露光エネルギービームを照射する照明系と、前記マスクのパターンが転写される基板を位置決めするステージ系と、を有する露光装置において、

前記露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に、前記露光エネルギービームに対する透過率が高く、かつ熱伝導率の良好な気体を供給する気体供給装置と、

前記気体供給装置から前記露光エネルギービームの光路上に供給された後に前記気体の少なくとも一部を回収する気体回収装置と、を備えたことを特徴とする露光装置。

2. 前記気体はヘリウムであることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

3. 前記気体回収装置は、複数の露光装置で共用されることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

4. 前記気体回収装置で回収された前記気体を前記気体供給装置の少なくとも一部を介して前記露光エネルギービームの光路上に再循環させることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

5. 前記気体供給装置は、

前記気体回収装置から供給される前記気体の濃度を計測する濃度計と、

前記気体が気体の状態、又は液化された状態で封入された気体源と、

前記濃度計の計測結果に応じて前記気体源からの気体を前記気体回収装置から供給される気体に補充する制御部と、を有することを特徴とする請求項4記載の露光装置。

6. 前記気体供給装置は、

前記気体を液化保存、又は高圧保存する気体源と、

該気体源内の液化ガス、又は高圧ガスを前記気体に戻す変換装置と、

前記気体源から前記気体が前記露光装置に供給される前に前記気体の温度及び圧力を調整する調整装置と、を有することを特徴とする請求項1記載の露光装置。

7. 前記気体回収装置は、前記回収した気体を液化、又は高圧化して保存することを特徴とする請求項1記載の露光装置。

8. 請求項1記載の露光装置を含む複数の露光装置を有し、該複数の露光装置で複数のデバイスパターンを露光対象の基板上に重ね合わせて転写してマイクロデバイスを製造することを特徴とするデバイス製造装置。

9. 所定の露光エネルギービームでマスクを照明し、前記マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置において、

制御用の第1の気体を用いて所定の動作を行う気体制御式駆動装置を備え、

前記露光エネルギービームの光路の少なくとも一部に透過率の良好な第2の気体を供給すると共に、

前記気体制御式駆動装置用の前記第1の気体として、前記第2の気体と同じ種類の気体を使用することを特徴とする露光装置。

10. 前記気体制御式駆動装置は、気体軸受け方式でガイド面と接触するステージ装置、気体式のシリンダ装置、又は気体を緩衝材の一部に使用する防振台であることを特徴とする請求項9記載の露光装置。

11. 前記露光エネルギービームが250nm以下の波長の紫外光である場合に、前記第2の気体は窒素、又はヘリウムであることを特徴とする請求項9記載の露光装置。

12. 前記露光エネルギービームが200nm以下の波長の紫外光である場合に、前記第2の気体はヘリウムであることを特徴とする請求項9記載の露光装置。

13. 前記露光エネルギービームがX線である場合に、前記第2の気体は窒素、又はヘリウムであることを特徴とする請求項9記載の露光装置。

14. 保持部材に保持される複数の光学素子を有し、照明光源からの照明光をマスクに照射する照明光学系と、

保持部材に保持される複数の光学素子を有し、前記マスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系とを備える露光装置において、

接着剤を用いることなく前記光学素子のすべてを押し付け機構を用いて前記保持部材に保持することを特徴とする露光装置。

15. 請求項14の露光装置において

前記押し付け機構は、一端を前記保持部材の内周部に固定し、他端で前記光学素子の外周部を押圧する板ばねであることを特徴とする露光装置。

16. 請求項14の露光装置において、

前記押し付け機構は、前記保持部材の内周部に刻設したねじ部に螺合し、螺進させて前記光学素子の外周部を押圧するねじ環であることを特徴とする露光装置。

17. 複数のロッドレンズを束ねたフライアイレンズを含む複数の光学素子を有し、照明光源からの照明光をマスクに照射する照明光学系と、

保持部材に保持される複数の光学素子を有し、前記マスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系とを備える露光装置において、

接着剤を用いることなく前記複数のロッドレンズを保持装置で束ねたことを特徴とする露光装置。

18. マスクに露光エネルギービームを照射するとともに、前記マスクを介して前

記露光エネルギービームで基板を露光する装置の製造方法において、

前記露光エネルギービームの光路の少なくとも一部をほぼ密封する気体室に、  
前記露光エネルギービームの減衰を低減する気体を供給する供給管を接続し、

前記気体室に供給される気体の少なくとも一部を回収する回収管を、前記気体室と、前記気体室が配置される筐体との少なくとも一方に接続することを特徴とする露光装置の製造方法。

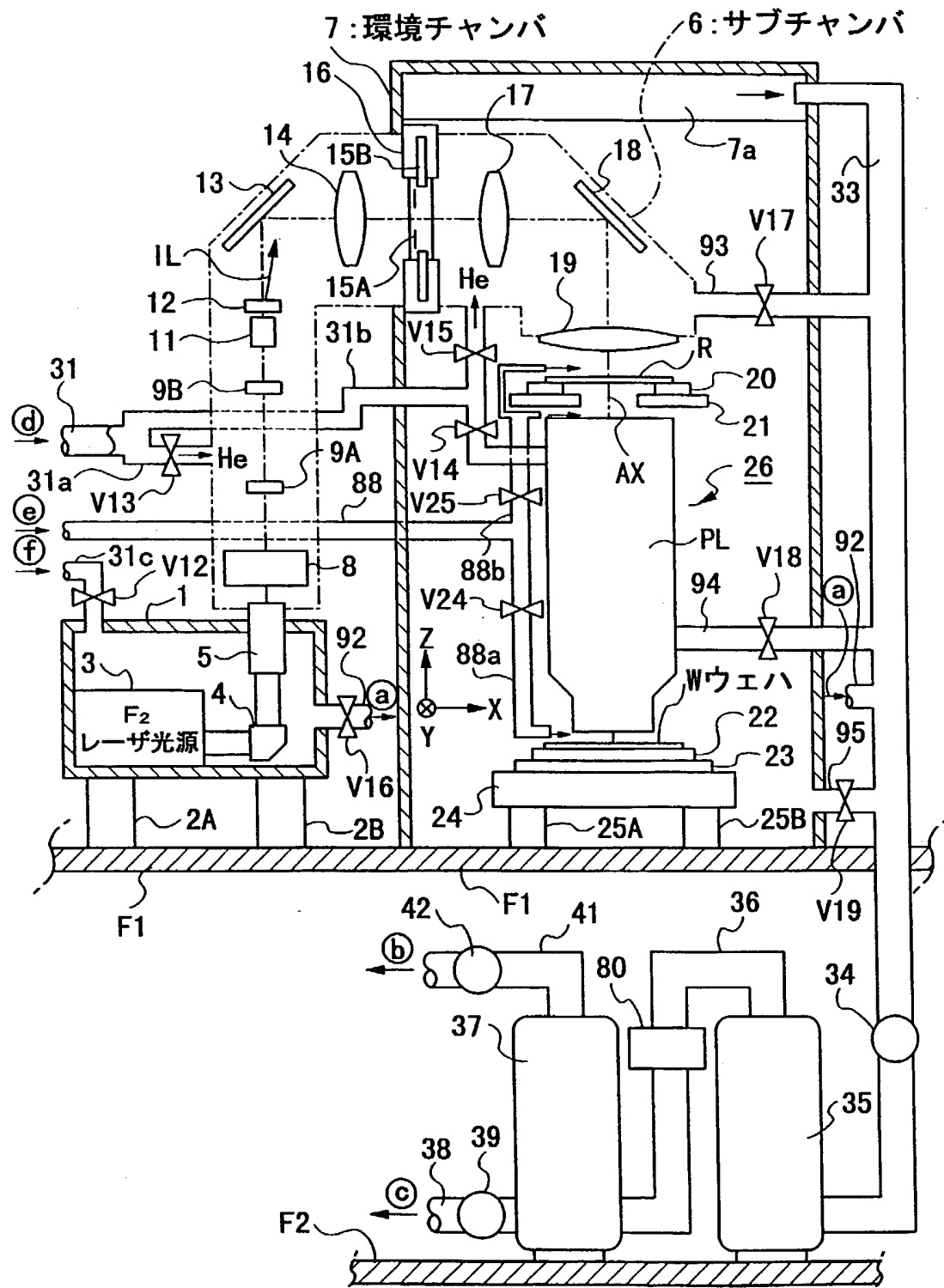
19. 前記回収される気体から不純物を除去する除去装置に前記回収管を接続するとともに、前記除去装置と前記供給管とを接続することを特徴とする請求項18に記載の露光装置の製造方法。

20. 前記露光エネルギービームが通る光学素子を、接着剤を用いることなく保持部材に固定して前記露光装置に組み込むことを特徴とする請求項18又は19に記載の露光装置の製造方法。

21. 前記露光装置に設けられ、前記気体と光学的な特性が実質的に同じである気体を用いる気体制御式駆動装置と、該気体の供給源とを接続することを特徴とする請求項18～21のいずれか一項に記載の露光装置の製造方法。

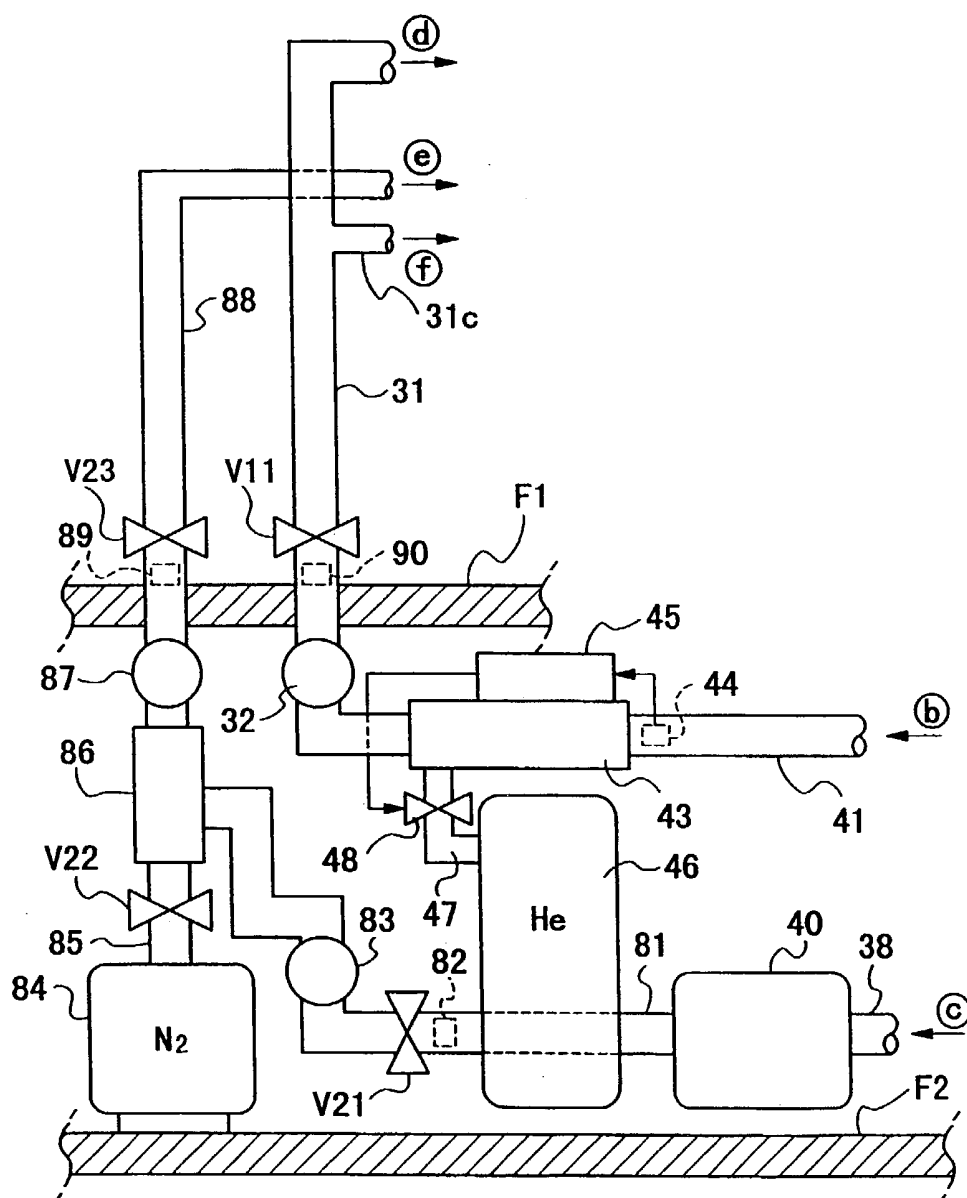
1/10

図 1



2/10

図 2



3/10

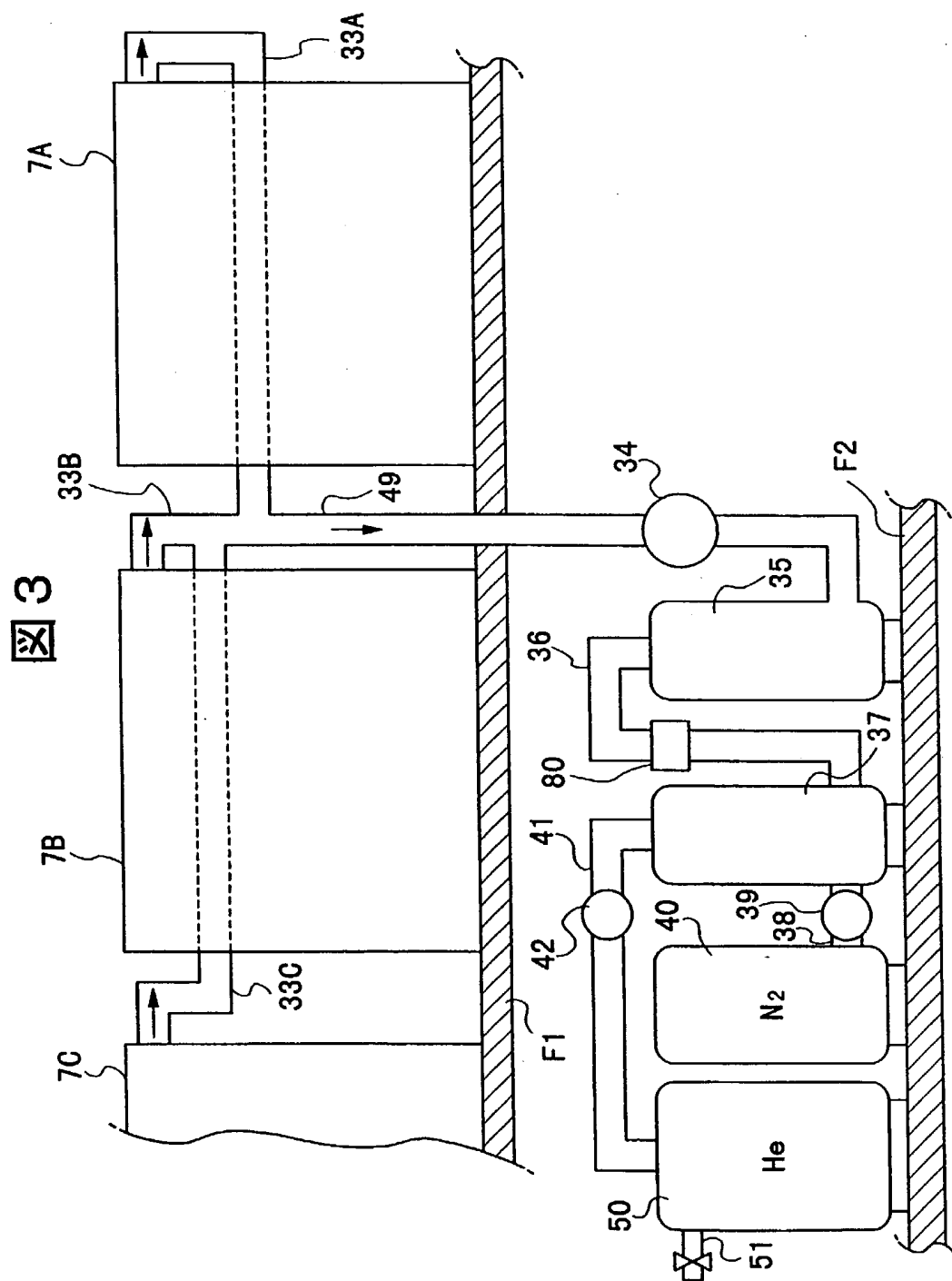
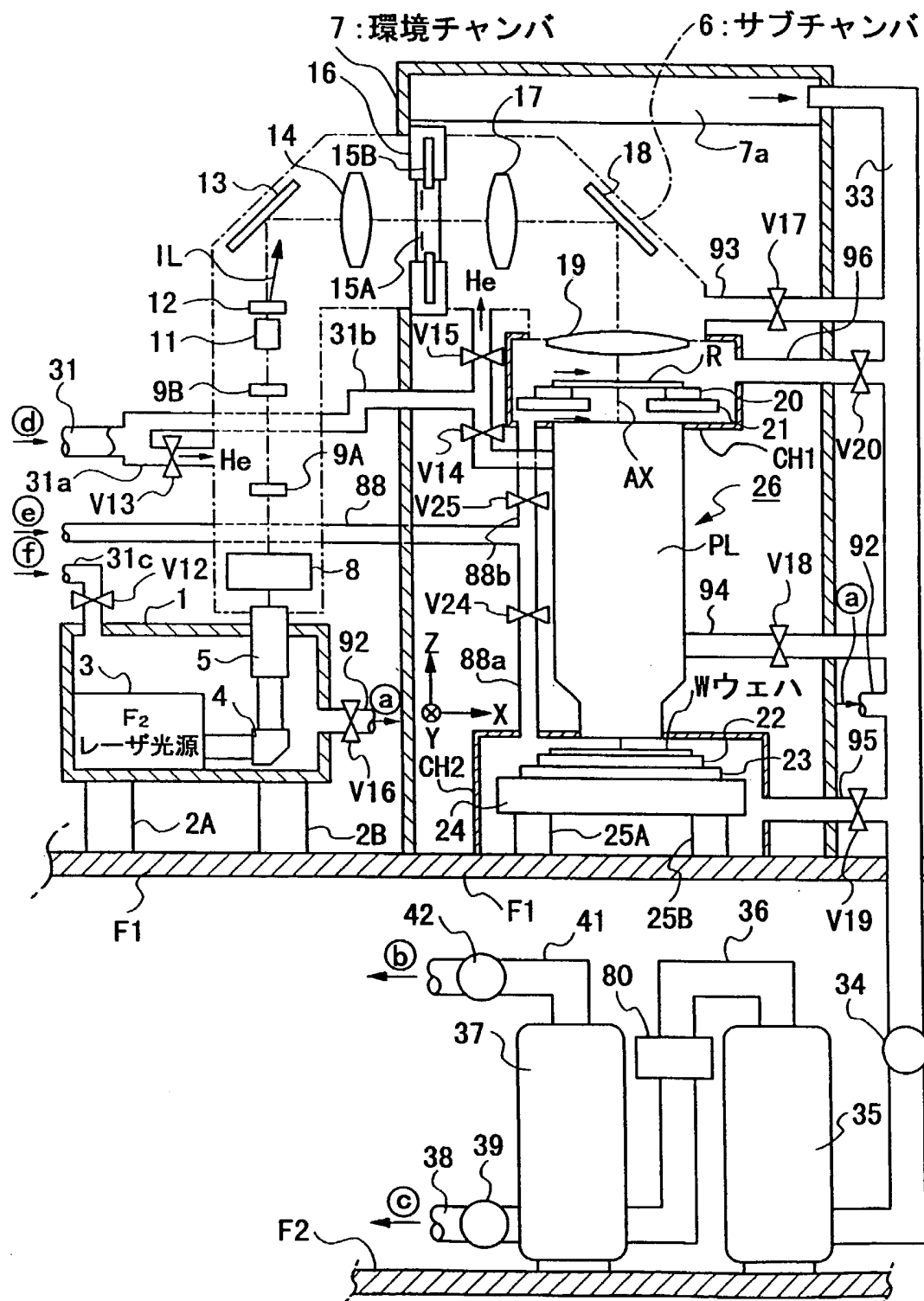


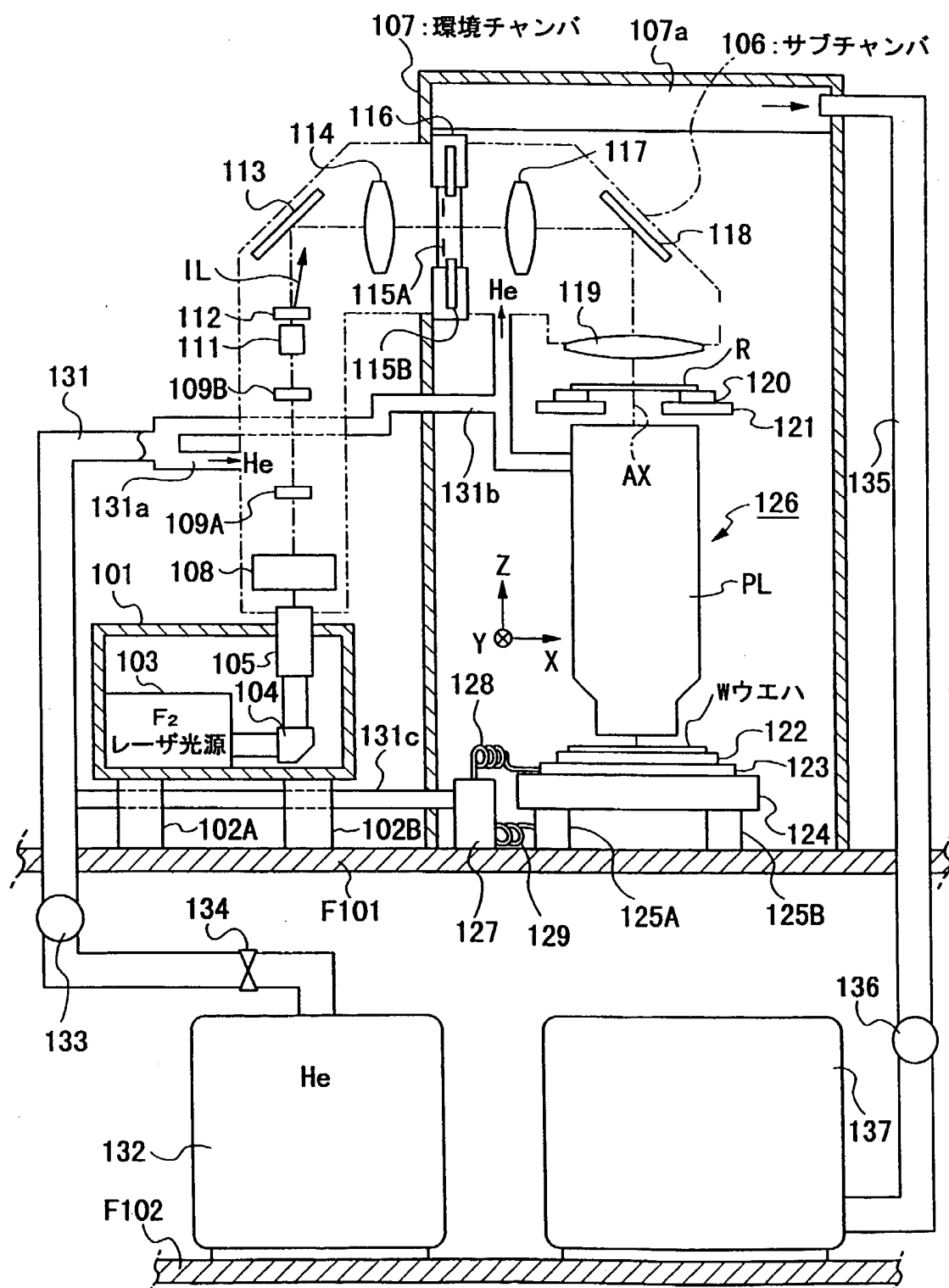
图 4



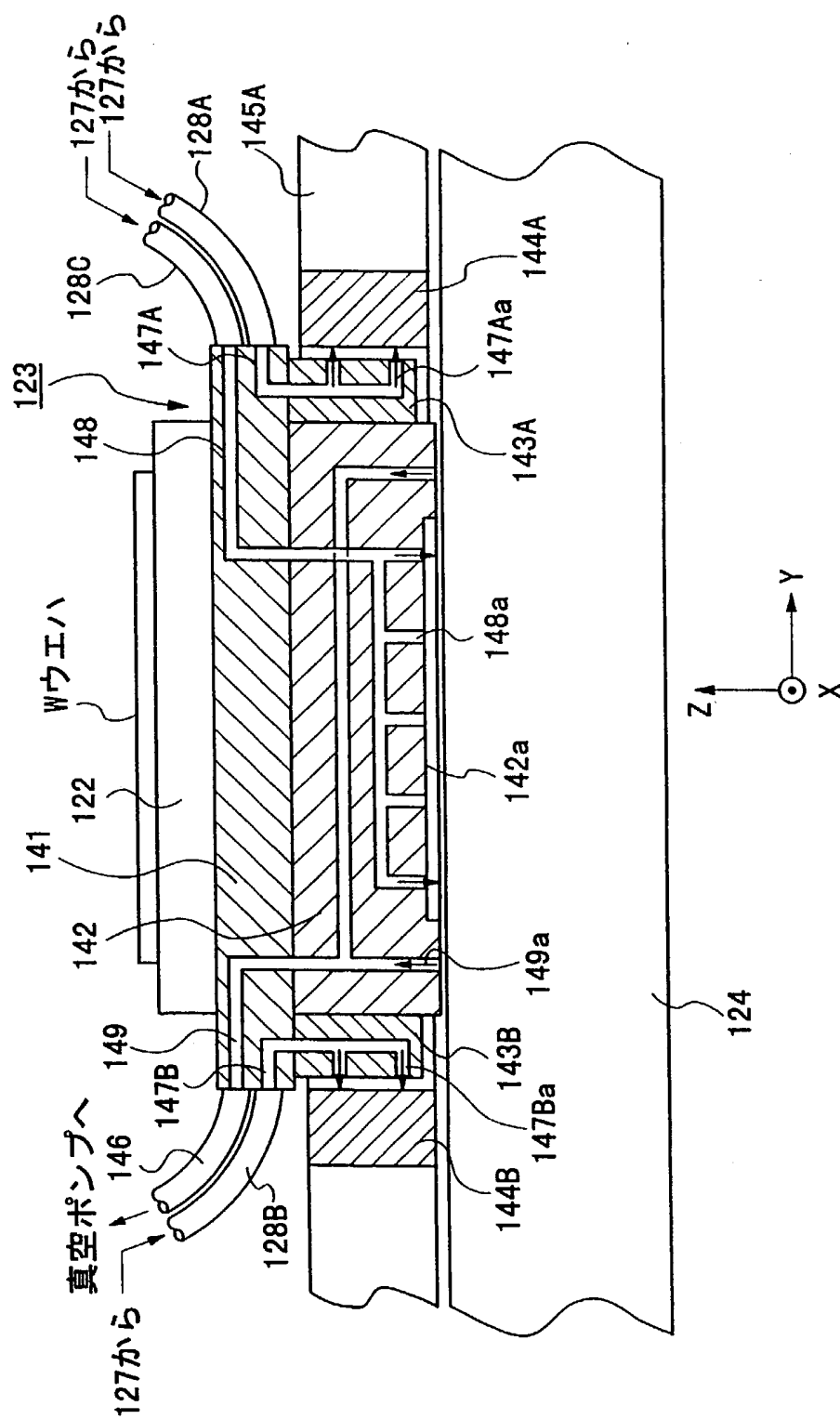


5/10

図 5



⑩



7/10

図 7

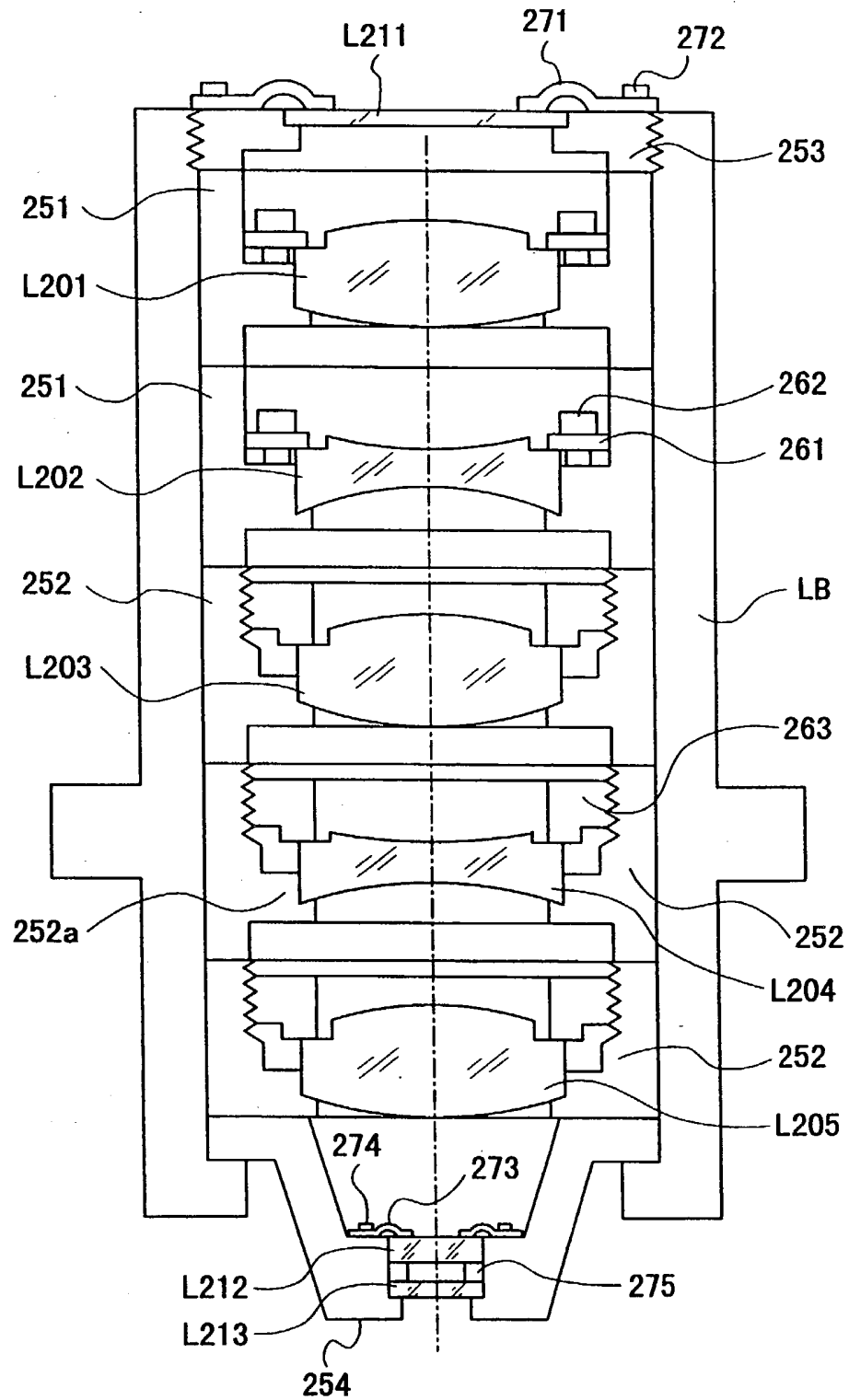
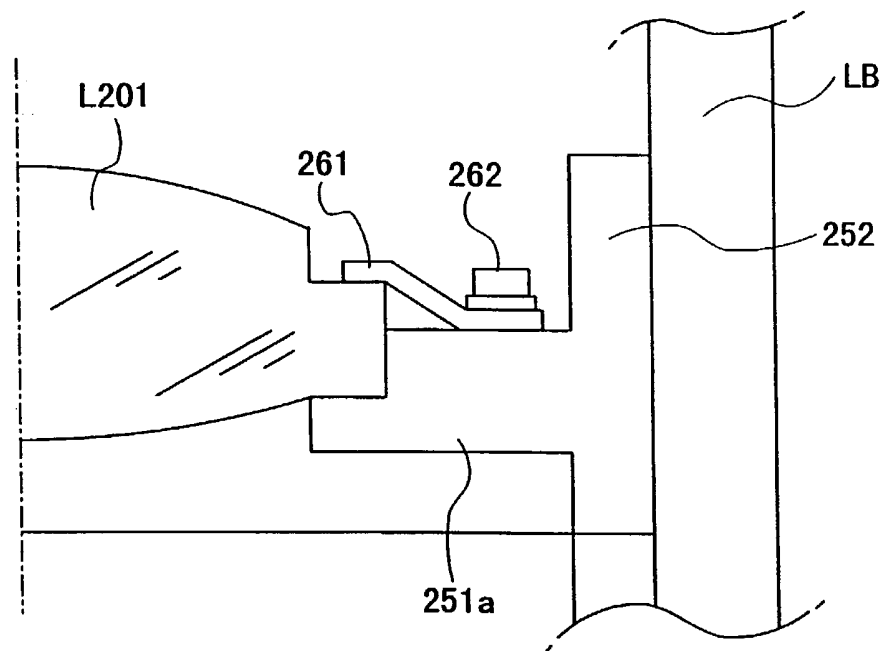
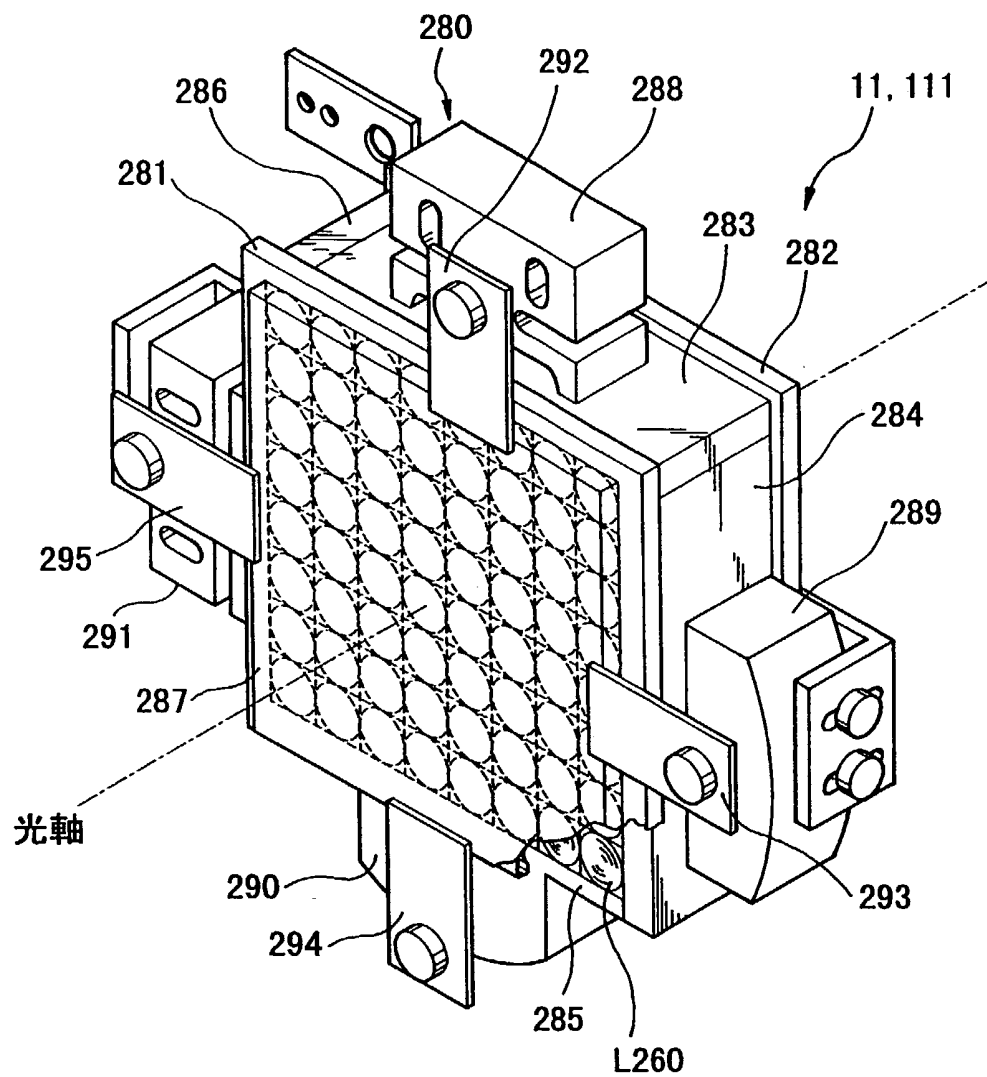


図 8



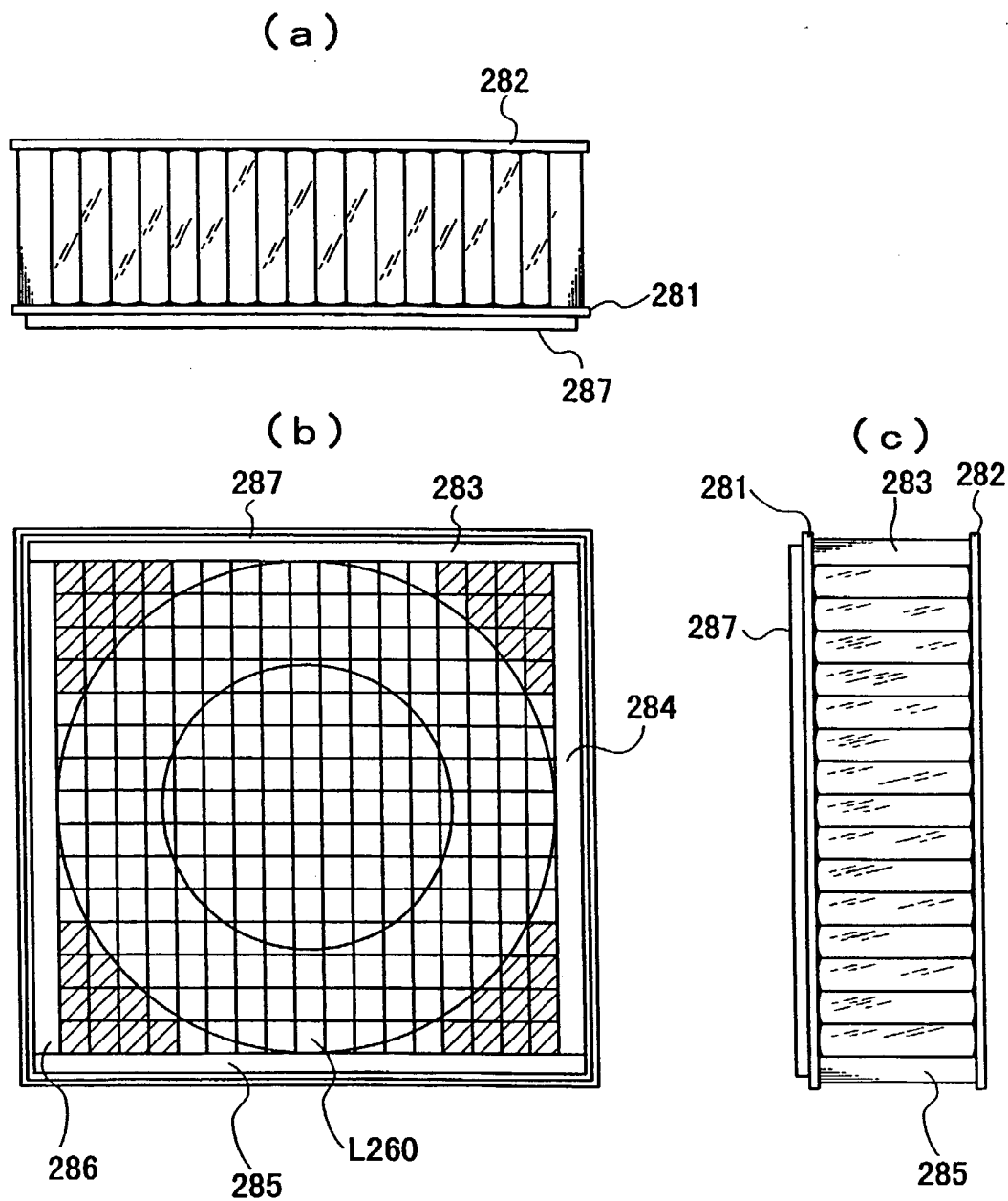
9/10

図 9



10/10

## 図 10



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05073

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1999 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 9-283419, A (Canon Inc.), 31 October, 1997 (31. 10. 97), Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 4, 5, 8, 18, 19 3, 6, 7, 20
Y		
X	JP, 7-122505, A (Canon Inc.), 12 May, 1995 (12. 05. 95), Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 4, 8, 18, 19 3, 5-7, 20
Y		
X	JP, 61-87124, A (GCA Corp.), 2 May, 1986 (02. 05. 86), Fig. 1 & DE, 3524533, A & FR, 2568025, A & US, 4616908, A	1, 2, 8, 18
X	JP, 8-327895, A (Nikon Corp.), 13 December, 1996 (13. 12. 96), Par. No. [0003] ; Fig. 6 (Family: none)	14, 16 15, 20
Y		

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
9 February, 1999 (09. 02. 99)

Date of mailing of the international search report  
16 February, 1999 (16. 02. 99)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05073

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 61-87106 (Laid-open No. 62-199714) (Dainippon Screen Mfg.Co., Ltd.), 19 December, 1986 (19. 12. 86) Pages 3, 4 ; Fig. 9 (Family: none)	14, 17 15, 16, 20
Y	JP, 9-186077, A (Nikon Corp.), 15 July, 1997 (15. 07. 97), Fig. 1 (Family: none)	1-13, 18-21
PX PY	JP, 9-306825, A (Nikon Corp.), 28 November, 1997 (28. 11. 97), Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 8, 18 3-7, 9-13, 19-21



## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP98/05073

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int.Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F 7/20

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int.Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F 7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1999年  
日本国公開実用新案公報 1971-1999年  
日本国登録実用新案公報 1994-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P, 9-283419, A, (キャノン株式会社), 31. 10月. 1997, (31. 10. 97), 第1図	1, 2, 4, 5, 8, 18, 19
Y	(ファミリーなし)	3, 6, 7, 20
X	J P, 7-122505, A, (キャノン株式会社), 12. 5月. 1995, (12. 05. 95), 第1図	1, 2, 4, 8, 18, 19
Y	(ファミリーなし)	3, 5-7, 20
X	J P, 61-87124, A, (ジー・シー・エー・コーポレーション), 2. 5月. 1986, (02. 05. 86), 第1図 & DE, 3524533, A & FR, 2568025, A & US, 4616908, A	1, 2, 8, 18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 02. 99

国際調査報告の発送日

16.02.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

正山 旭



4M

9276

電話番号 03-3581-1101 内線 3464

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP, 8-327895, A, (株式会社ニコン), 13. 12 月. 1996, (13. 12. 96), 第【0003】欄、第6図 (ファミリーなし)	14, 16 15, 20
X Y	日本国実用新案登録出願61-87106号(日本国実用新案登録 出願公開62-199714号)の願書に添付した明細書及び図面 の内容を撮影したマイクロフィルム, (大日本スクリーン製造株式 会社), 19. 12月. 1986 (19. 12. 86), 第3頁, 第4頁, 第9図 (ファミリーなし)	14, 17, 15, 16, 20
Y	JP, 9-186077, A, (株式会社ニコン), 15. 7月. 1997, (15. 07. 97), 第1図 (ファミリーなし)	1-13, 18-21
PX PY	JP, 9-306825, A, (株式会社ニコン), 28. 11 月. 1997, (28. 11. 97), 第1図 (ファミリーなし)	1, 2, 8, 18 3-7, 9-13, 19-21